



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

2008

Institutsberichte

**Institut für
Elektromechanische
Konstruktionen**

**Institutsbericht
2007 / 2008**

2007
2008

Institut für Elektromechanische Konstruktionen



Geschäftsführender**Direktor:** Prof. Dr.-Ing. Helmut F. Schlaak**Fachgebiet:** Mikrotechnik und Elektromechanische Systeme
Prof. Dr.-Ing. Helmut F. Schlaak**Telefon / e-mail:** (0 61 51) 16-26 96 / schlaak@emk.tu-darmstadt.de**Sekretariat:** Frau Monika Brei**Fachgebiet:** Mess- und Sensortechnik:

Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Werthschützky

Telefon / e-mail: (0 61 51) 16-22 96 / werthschuetzky@emk.tu-darmstadt.de**Sekretariat:** Frau Jutta Reuter**Postanschrift:** Technische Universität Darmstadt
Institut für Elektromechanische Konstruktionen
Merckstraße 25
D-64283 Darmstadt**Telefax:** (0 61 51) 16-40 96**Internet:** <http://www.institut-emk.de>**Fachgebiet:** Lichttechnik:

Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh

Telefon / e-mail: (0 61 51) 16-27 42 / khanh@lichttechnik.tu-darmstadt.de**Sekretariat:** Frau Dorothe Drechsler
Frau Ingeborg Weber**Postanschrift:** Technische Universität Darmstadt
Institut für Elektromechanische Konstruktionen
Fachgebiet Lichttechnik
Hochschulstraße 4a
D-64289 Darmstadt**Telefax:** (0 61 51) 16-5468**Internet:** <http://www.lt.e-technik.tu-darmstadt.de>

Institutsbericht 2007 – 2008

*Institut für Elektromechanische Konstruktionen
(EMK)
der Technischen Universität Darmstadt*

1.	Das Institut für EMK	6
2.	Mitarbeiter des Instituts	9
3.	Lehrveranstaltungen	13
4.	Forschung	21
5.	Laboratorien und Ausrüstungen	95
6.	Dissertationen	105
7.	Studien- und Diplomarbeiten	111
8.	Veröffentlichungen	119
9.	Mitarbeit in Gremien	128
10.	Wissenschaftlicher Austausch	130
11.	Besondere Ereignisse	135
12.	Fördervereine	139
13.	Statistik	143
14.	Anhang	147

Vorwort

Der vorliegende Bericht des Instituts für *Elektromechanische Konstruktionen* am Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität Darmstadt, der alle zwei Jahre erscheint, gibt einen Überblick zur geleisteten Arbeit in Lehre und Forschung im Zeitraum 2007 bis 2008.

Seit Besetzung der Stiftungsprofessur für Lichttechnik durch Herrn Dr.-Ing. habil. Khanh ab 1. Oktober 2006 wird die Lehre und Forschung am Institut EMK durch die drei Fachgebiete:

- Lichttechnik Prof. Dr.-Ing. habil. T. Q. Khanh
- Mikrotechnik und
Elektromechanische Systeme Prof. Dr.-Ing. H.F. Schlaak
- Mess- und Sensortechnik Prof. Dr.-Ing. habil. R. Werthschützky

getragen.

Im Oktober 2007 erfolgte die Umstellung unseres Diplomstudienganges „Elektrotechnik und Informationstechnik“ auf die gestuften Bachelor- und Master-Abschlüsse. Unser Institut ist in der Lehre wie bisher als Vertiefung „Mikro- und Feinwerktechnik (MFT)“ vertreten. Im Bachelorstudium erfolgt die MFT-Vertiefung im 5. und 6. Semester. Im Masterprogramm bieten wir einen eigenständigen MFT-Master mit vier Semestern an. Es ist uns fast vollständig gelungen, die bewährte Struktur und die Inhalte der Studienrichtung MFT in den Bachelor und Master zu integrieren.

Außerdem ist die Mikro- und Feinwerktechnik im Bachelor und Master des neuen Studienganges „Mechatronik“ als Vertiefungsschwerpunkt vertreten.

Der Aufbau des Mikrotechnik-Labors mit ca. 120 m² Reinraumfläche als technologische Basis vor allem für die Forschungsarbeiten auf den Gebieten Mikroaktuatorik, Mikrooptik und Mikrosensorik ist abgeschlossen. Die aktuellen Forschungsarbeiten zu MEMS-Aktoren sowie zu MEMS-Mikrokraft- und -drucksensoren konnten bereits erfolgreich die neu eingeführten Technologien zur Schichtabscheidung, Photolithographie, Trocken- und Nassätztechnik, Mikrogalvanik, Montagetechnik und Präzisionsmesstechnik nutzen.

Im Berichtszeitraum konnten die Herren Sindlinger, Wohlgemuth und Weber im Fachgebiet Mess- und Sensortechnik erfolgreich Ihre Dissertationen abschließen (s.

Dissertationen). Unseren frisch gebackenen Doktoren wünschen wir einen erfolgreichen Start in Ihren neuen Tätigkeitsfeldern.

Ihre Tätigkeit als Wissenschaftliche Mitarbeiter nahmen Frau Kohlstedt und die Herren Böll, Groh, Flittner, Hatzfeld, Heinickel, Kassner, Kohlstedt, Kober, Kuhn, Kutschenko, Schiller, Schlosser, Staab, Steckert, Wohlleber am Institut auf. Wir wünschen allen "Neuzugängen" ein erfolgreiches Wirken und hoffen, dass sie sich bei EMK möglichst gut geborgen fühlen. Am Fachgebiet Lichttechnik arbeitet Herr Ass.-Prof. P. Bodrogi von der Universität Pannonia/Ungarn an seiner Habilitation und seit Anfang 2007 hat Frau Dorothe Drechsler das Sekretariat übernommen.

Im Rahmen der hessischen Exzellenzinitiative LOEWE (Landesoffensive zur Entwicklung wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz) haben die TU Darmstadt und das Fraunhofer-Institut LBF ein Zentrum für Adaptronik eingerichtet. An diesem Zentrum wird das Institut EMK mit mehreren Wissenschaftlern beteiligt sein und so seine erste Außenstelle in Darmstadt Kranichstein eröffnen.

Liebe Freunde des Instituts,

die erfolgreiche Tätigkeit des Instituts für Elektromechanische Konstruktionen in den Jahren 2007 und 2008 war nur durch die außerordentlich engagierte Tätigkeit aller Institutsmitglieder möglich. Besonders wertvoll für uns war dabei die stete Unterstützung durch unsere ehemaligen Absolventen, unsere industriellen Forschungspartner, unsere Förderer innerhalb und außerhalb der Universität und vor allem durch unseren EMKklub sowie dem Verein der Freunde der Lichttechnik. Dafür gebührt Ihnen allen unser Dank, verbunden mit dem Wunsch nach anhaltend enger und erfolgreicher Zusammenarbeit.

Darmstadt, im November 2008

Prof. Dr.-Ing. Helmut F. Schlaak

Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh

Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Werthschützky

1. Das Institut für EMK

Das Institut für Elektromechanische Konstruktionen wurde 1963 an der Fakultät Elektrotechnik der Technischen Hochschule Darmstadt gegründet. Wesentliches Ziel der Institutsgründung war es, den damaligen außergewöhnlichen Mangel der feinwerktechnisch orientierten Industrie an qualifiziertem Nachwuchs zu mindern. Im Mittelpunkt der Lehre, die Herr Prof. Dr.-Ing. C. Brader als Inhaber des ersten Lehrstuhls vermittelte, standen die Grundlagen, Prinzipien und Methoden der Elektromechanik und des Konstruierens, erprobt an exemplarischen praktischen Beispielen.

Der engen Verbindung von Theorie und Praxis wird auch heute die Lehre und Forschung am Institut gerecht. Komplexe Systeme der Mikro- und Feinwerktechnik bestimmen zunehmend unseren Alltag, wie Antiblockiersysteme im Fahrzeug, Kfz-Scheinwerfer und Beleuchtungssysteme, Drucker, Fax und Scanner im Büro, Messsysteme in der Medizin- und Automatisierungstechnik. Gerade das Zusammenwirken von Elektronik, Mechanik, Optik und Informationstechnik schafft Innovationen unter Einsatz neuer Technologien wie der Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie. Wir betrachten daher die Lehre und Forschung am Institut als Synergie aus verschiedenen Fachgebieten mit dem Schwerpunkt der methodisch orientierten Anwendung beim Entwurf, der Konstruktion und der Realisierung von Bauteilen, Geräten und Systemen der Mikro- und Feinwerktechnik.

Studenten und Studentinnen haben im Bachelorstudium die Möglichkeit, die Vertiefung *Mikro- und Feinwerktechnik (MFT)* zu wählen. Darauf aufbauend ist die Wahl des Masterstudiums mit der Vertiefung MFT möglich. Die MFT-Studienvertiefung wird in den Kernfächern wie bisher vom Institut EMK getragen. Beibehalten wurde die traditionell große Wahlmöglichkeit für unsere Studenten.

Das Studium in der Vertiefung *Mikro- und Feinwerktechnik* ist fachübergreifend, anwendungsorientiert und vermittelt solide Grundlagen und Fachkenntnisse der Mikro- und Feinwerktechnik, der Mess- und Sensortechnik, der Lichtoptik, der Nachrichten- und Kommunikationstechnik, der Elektronik sowie der Automatisierungstechnik. Typische Anwendungsfelder bilden die Entwicklung von Positioniersystemen, Mikroaktoren, Kleinmotoren, Sensoren und Sensorsystemen für mechanische Größen, direkt gekoppelten Sensor-Aktor-Systemen für industrielle und medizintechnische Anwendungen sowie Beleuchtungseinrichtungen und Kfz-Scheinwerfern.

Als Besonderheit werden in der Studienrichtung MFT Projektseminare zur *Praktischen Entwicklungsmethodik* angeboten. Die Studenten bearbeiten in einem kleinen Team unter Betreuung eines Wissenschaftlichen Mitarbeiters eine gemeinsame Aufgabenstellung. Sie erlernen hierbei methodisches Vorgehen sowie das Anwenden

von Kreativitätstechniken bei der Entwicklung eines elektromechanischen Gerätes. Mit viel Eigeninitiative sowie mit Hilfe der feinmechanischen Werkstatt und unseres neuen Reinraum-Labors für Mikrotechnik realisieren die Studenten ihren Geräteentwurf. Sie sammeln hierbei - quasi als Nebenprodukt - praktische Erfahrungen im Umgang mit CAD-Tools, in der Schaltungsentwicklung sowie der Messtechnik. In einem Zwischen- und Abschlussvortrag erläutern die Teams ihre Vorgehensweise und die Ergebnisse. So lernen sie, sich und ihre Arbeit zu präsentieren. Resultat der Teamarbeit ist in der Regel ein funktionsfähiges Gerät. Auf jeden Fall aber sind die Studenten um einiges an Praxiserfahrung reicher geworden.

Die Forschung am Institut ist auf Themen aus den Gebieten der Mikrotechnik, der Mikroaktoren, der Mess- und Sensortechnik, der Mikrofertigungsverfahren sowie der Lichttechnik konzentriert. Dabei stellt die Medizintechnik einen besonderen Schwerpunkt dar.

Die Forschungsergebnisse finden Anwendung in unterschiedlichen industriellen Bereichen, vor allem aber in der Automatisierungs-, Kraftfahrzeug-, Medizin- und Fertigungstechnik.

Die Ergebnisse von Forschung und Lehre werden auch durch die Herausgabe eines Fachbuches zum ingenieurmäßigen Entwurf haptischer Schnittstellen „Entwicklung haptischer Geräte“ und zum dynamischen Entwurf elektromechanischer Geräte „Elektromechanische Systeme der Mikrotechnik und Mechatronik“ im Springer Verlag unterstrichen.

Die inhaltliche Neuausrichtung des Instituts zeigt sich im jetzt abgeschlossenen Aufbau des Reinraum-Labors für Mikrotechnik. Dieses neue Labor bietet einerseits eine eigenständige technologische Basis für die Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Mikrosystemtechnik und andererseits den Studierenden in der gewohnten intensiven EMK-Betreuung den Zugang zu den Mikrotechniken vor Ort.

Besonders erfolgreich waren die vergangenen beiden Jahre auch im Einwerben von Drittmitteln. So konnten zwei Industrieprojekte zur neuartigen Anwendung von Silizium-Sensoren, ein DFG-Projekt zur Untersuchung der haptischen Wahrnehmung beim Menschen, zwei BMBF-Verbundprojekte zur Mikro-Nano-Integration, sowie Funktionsintegration von dielektrischen Elastomeraktoren und mehrere Industrieprojekte zur LED-Technologie in der Verkehrslichttechnik gestartet werden. Damit übersteigt die Zahl der Drittmittelbeschäftigten deutlich die Zahl der Landesstellen.

Bei über 40 Mitarbeitern und ca. 60 Studenten im Hauptstudium ist das Institut von seiner Größe noch überschaubar. Ergebnisse unserer Forschungsarbeiten werden bei unseren regelmäßigen Institutsrundgängen und Institutskolloquien vorgestellt.

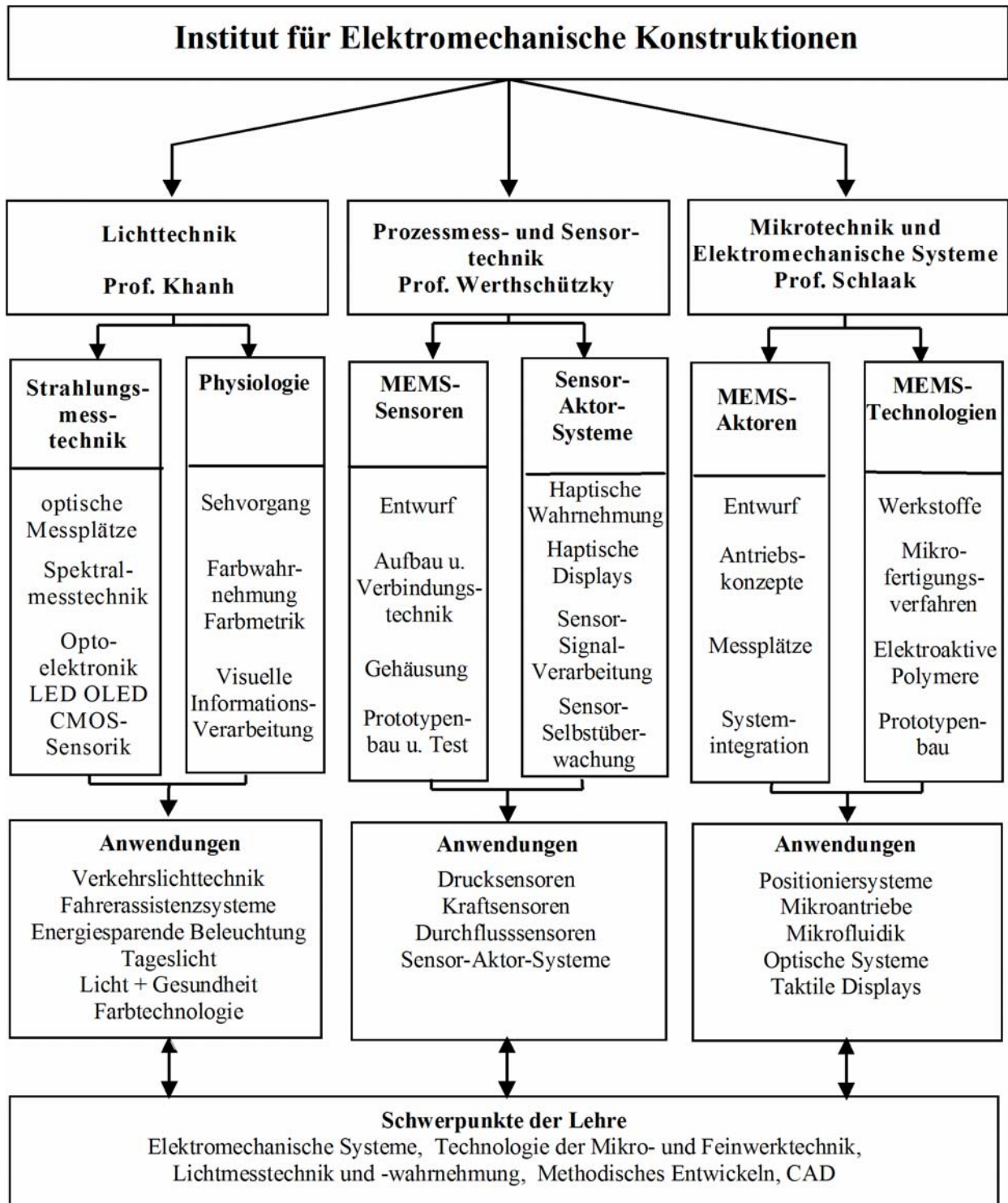


Abb. 1.1: Forschungsschwerpunkte am Institut

2. Mitarbeiter des Instituts

Professoren:

Schlaak, Helmut F.	Prof. Dr.-Ing. (Geschäftsführender Direktor)
Khanh, Tran Quoc	Prof. Dr.-Ing. habil.
Werthschützky, Roland	Prof. Dr.-Ing. habil.
Cramer, Bernhard	Prof. Dr.-Ing. (seit 01.10.1995 im Ruhestand)
Schmidt-Clausen, Hans-Joachim	Prof. Dr.-Ing. (seit 01.04.2001 im Ruhestand)
Weißmantel, Heinz	Prof. Dr.-Ing. (seit 01.10.1999 im Ruhestand)
Buschmann, Heinrich	Prof. Dr.-Ing. (seit 01.02.1989 im Ruhestand)

Sekretariate:

Brei, Monika	
Reuter, Jutta	
Weber, Ingeborg	*)
Drechsler, Dorothe	*) (ab Februar 2007)

Akademischer Rat:

Ilgen, Hans Joachim	Dr. phil. nat.
---------------------	----------------

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Böll, Marvin	Dipl.-Ing.	*) (ab August 2008)
Brückner, Stefan	Dipl.-Ing.	
Eicher, Dirk	Dipl. Ing.	(bis Juli 2008)
Flittner, Klaus	Dipl.-Ing.	*) (ab Oktober 2007)
Funke, Stephan	Dipl.-Ing.	*) (bis November 2008)
Greiner, Felix	Dipl.-Ing.	
Groh, Andreas	Dipl.-Ing.	*) (ab Mai 2008)
Heinickel, Patrick	Dipl.-Ing.	*) (ab November 2007)
Haferkemper, Nils	Dipl.-Ing.	
Hatzfeld, Christian	Dipl.-Ing.	*) (ab April 2008)
Kassner, Sebastian	Dipl.-Ing.	*) (ab August 2007)
Kern, Thorsten	Dr.-Ing.	*) (bis November 2008)
Kober, Timo	Dipl.-Ing.	*) (ab November 2007)

*) Drittmittelstelle

Kohlstedt, Mark	Dipl.-Phys.	*) (ab September 2007)
Kuhn, Thomas	Dipl.-Ing.	*) (ab Juli 2008)
Kutschenko, Wjatscheslaw	Dipl.-Ing.	*) (ab Juni 2008)
Lotz, Peter	Dipl.-Ing.	
Matysek, Marc	Dipl.-Ing.	
Meiß, Thorsten	Dipl.-Ing.	
Paramei, Galina	PD Dr. habil. rer. nat.	*) (bis Oktober 2007)
Rafflenbeul, Lutz	Dipl.-Ing.	*)
Rausch, Jacqueline	Dipl.-Ing.	*)
Röse, Andreas	Dipl.-Ing.	*)
Schemmer, Benedikt	Dipl.-Ing.	*) (bis September 2007)
Schiller, Christoph	Dipl.-Wirtsch.-Ing.	
Schlosser, Michael	Dipl.-Ing.	*) (ab Juli 2007)
Sindlinger, Stephanie	Dipl.-Ing.	
Sprute, Jan Holger	Dipl.-Wirtsch.-Ing.	*)
Staab, Matthias	Dipl.-Ing.	(ab Juni 2007)
Steckert, Carsten	Dr. -Ing.	*) (2008)
Stöhr, Ingmar	Dipl.-Ing.	*)
Werner, Reinhard	Dipl.-Ing.	
Weber, Thomas	Dipl.-Ing.	(bis Dezember 2007)
Wohlgemuth, Christian	Dipl.-Ing.	*) (bis Mai 2007)
Wohlleber, Cedric	Dipl.-Ing.	*) (ab Juli 2007)

Forschungsstipendiaten:

Bodrogi, Peter	Ass.Prof. Dr.	(ab Februar 2008)
Kohlstedt, Anika	Dipl. Phys.	(ab September 2008)

Technischer Leiter:

Jochem, Bernhard	Dipl.-Ing.
------------------	------------

Elektronische Werkstatt und Bauelemente:

Spika, Reiner

*) Drittmittelstelle

Mikrotechnik-Labor:

Rudat, Thomas
Schaum, Oliver

*) (bis Oktober 2007)

Mechanische Werkstatt im Hans-Busch-Institut:

(Institutszuordnung zu jeweils 50%)

Heil, Helfried	Werkstattmeister
Brunner, Werner	
Creter, Walter	
Horch, Helmut	
Fröse, Viktor	
Müller, Walter	

Lehrbeauftragte:

Blume, Jochen	Dr.-Ing. Continental Automotive GmbH, Babenhausen
Kern, Thorsten	Dr.-Ing. Continental Automotive GmbH, Babenhausen
Hoppach, Elmar	Dr.-Ing. Hoppach Technologieberatung GmbH, Darmstadt

*) Drittmittelstelle



Abb. 2.1: Die Mitarbeiter/innen des Instituts während der Klausurtagung 2008 in Hoechst/Odenwald

3. Lehrveranstaltungen

Zielstellung der Lehre

Mit Beginn des Wintersemesters im Oktober 2007 erfolgte am Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik die Umstellung des Diplom-Studienganges „Elektrotechnik und Informationstechnik“ auf den Bachelor- und Master-Abschluss. Zusätzlich wurde der Bachelor- und Master-Studiengang „Mechatronik“ eingeführt. In beiden Studiengängen ist das Institut mit den Vertiefungen „Mikro- und Feinwerktechnik“ und „Elektromechanische Systeme“ vertreten.

Das Lehrangebot in diesen Vertiefungen beruht auf der bewährten Diplom-Studienrichtung „Mikro- und Feinwerktechnik (MFT)“. In den Abb. 3.1 und Abb. 3.2 sind die MFT-Vertiefungsfächer im ETiT- und Mechatronik-Bachelor sowie im MFT-Master und Mechatronik-Master zusammengestellt.

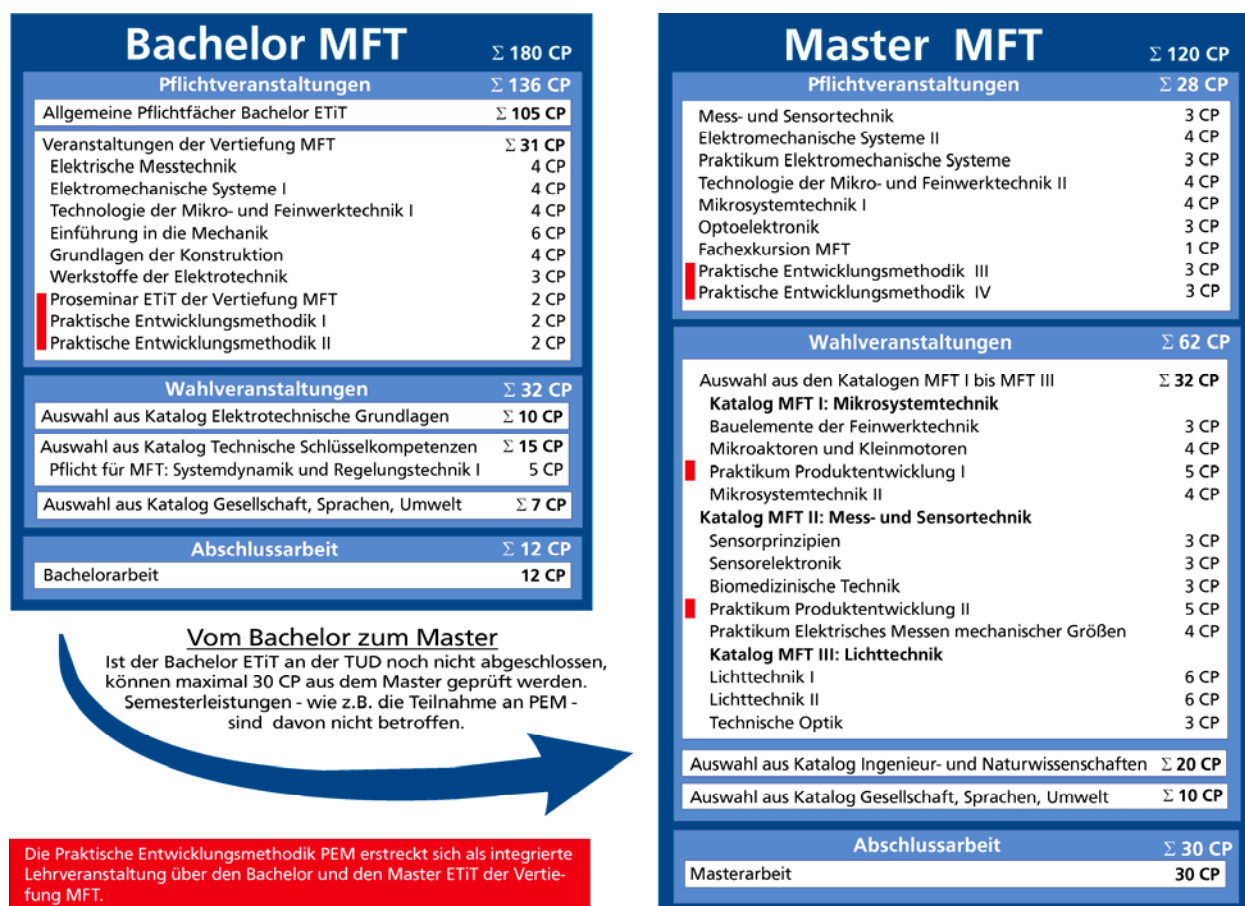


Abb. 3.1: MFT-Vertiefungsfächer im ETiT-Bachelor und –Masterstudiengang

4	Master Thesis (30 CP)						
3	Advanced Design Kraft- fahrzeugtechn. Thema MB (6 CP)	Projektseminar Mechatronik (6 CP)	Messgrößenregelung im Zustandsraum ETIT (4 CP)	Fahrdynamik u. Fahrkomfort (6 CP)	Schöne neue Arbeitswelt von Ingenieurinnen u. Ingenieuren (4 CP)	Einführung in die VWL RWi (5 CP)	
2	Praktikum Echtzeit- prog. Mikrocontroller (5 CP)	Systemdynamik Regelungstechnik II (6 CP)	Digitale Rege- lungssysteme (4 CP)	Mechatronik u. Assistenz- systeme im Automobil (4 CP)	Digitale Regel- systeme II (4 CP)	Tutorium Kraft- fahrzeugtechnik (4 CP)	English for Lower Intermediate IIa SPZ (3 CP)
1	Modellbildung u. Simulation (4 CP)	Elektromechanische Systeme o. Mikrosystemtechnik (4 CP)	Produkt- innovation (4 CP)	Technische Fluidsysteme (4 CP)	Identifikation dyna- mischer Systeme ETIT (6 CP)	Optimierung stat. u. dyn. Systeme INF (8 CP)	English for Lower Intermediate I a SPZ (3 CP)



Übergang zum Masterstudium

6	Bachelor-Arbeit (12 CP)		Praktikum Regelung M.S. (4 CP)		Praktikum Aktorerf. M.S. (4 CP)		Wahlbereich ETIT (6 CP)	
5	Systemdynamik Regelungstechnik (5 CP)		Elektrische Antriebe für Mechatroniker (6 CP)		Maschinenelemente und Mechatronik I (8 CP)		Strukturdynamik (6 CP)	
4	Mathematik IV (7 CP)	Einführung in die Mechanik (6 CP)	Technische Mechanik (5 CP)	Praktikum Messtechnik (4 CP)	Wahlbereich ETIT (2 CP)		PSWGSU (4 CP)	
3	Mathematik III (7 CP)	Deterministische Signale und Systeme (6 CP)	Elektronik (4 CP)	Technische Thermodynamik (6 CP)	Mess- und Sensortechnik (3 CP)		PSWGSU (4 CP)	
2	Mathematik II (7 CP)	Elektrotechnik und Informationstechnik II (6 CP)	Einführung i. d. rechner- gestützte Konstruieren (4 CP)		Allgemeine Informatik II (5 CP)	Praktikum ETIT Teil II (2 CP)	PSWGSU (6 CP)	
1	Mathematik I (7 CP)	Elektrotechnik und Informationstechnik I (6 CP)	Logischer Entwurf (5 CP)	Werkstoffe (3 CP)	Allgemeine Informatik I (5 CP)	Praktikum ETIT Teil I (2 CP)	PSWGSU (2 CP)	PSWGSU (2 CP)

Abb. 3.2: MFT-Vertiefungsfächer im Mechatronik-Bachelor und –Master
(Veranstaltungen des Instituts EMK sind grau hinterlegt.)

Ausgehend von den Grundlagen zum Entwurf elektromechanischer und lichtoptischer Systeme werden als "Werkzeuge" die fachlichen Aspekte der Technologien der Mikro- und Feinwerktechnik sowie der Lichttechnik, der Mikrosystemtechnik und der Grundlagen der Konstruktion vermittelt. Darauf aufbauend werden Vertiefungsvorlesungen und Seminare zu den Anwendungen von elektromechanischen Systemen in Form von Geräten, Baugruppen und Bauelementen angeboten. Besondere Schwerpunkte bilden dabei Aktoren, Sensoren, Baugruppen der Lichttechnik und Messsysteme in der Medizintechnik.

Die Projektseminare als Besonderheit der Lehre

Eine Darmstädter Besonderheit stellt die seit 40 Jahren am Institut EMK vermittelte spezielle Form von Projektseminaren dar. In diesen Seminaren zur *Praktischen Entwicklungsmethodik* (PEM) werden jeweils über ein Semester in Teams von 3 bis 5 Studenten gemeinsam mit dem betreuenden wissenschaftlichen Mitarbeiter konkrete praktische Entwicklungsaufgaben aus dem Bereich der Mikro- und Feinwerktechnik bearbeitet. Dabei stehen folgende Hauptzielstellungen im Vordergrund

- Trainieren von Teamarbeit an anspruchsvollen praktischen Aufgabenstellungen,
- Aneignung von methodisch-systematischen Vorgehen bei der Bearbeitung von Entwicklungsaufgaben,
- Entwickeln von methodischer Kompetenz, wie Kreativität, Gestaltungswillen und Entscheidungsfähigkeit,
- Entwickeln von sozialer Kompetenz, wie Kommunikationsfähigkeit, Kooperationsfähigkeit und Krisenfestigkeit.

Im Rahmen des ersten Projektseminars PEM I erfolgt parallel zur Bearbeitung einer für alle Gruppen gemeinsamen Aufgabenstellung die Vermittlung der theoretischen Grundlagen zur Entwicklungsmethodik als begleitende Vorlesung.

Im Bachelor-Studium werden im 5. und 6. Semester als Pflichtveranstaltungen die MFT-Grundvorlesungen und das erste und zweite PEM angeboten. Im MFT-Master-Studium sind die restlichen MFT-Grundfächer und das 3. und 4. PEM eingeordnet. Im Wahlbereich können die Studenten 32 Credit-Punkte aus den Vertiefungsblöcken „Mikrosystemtechnik“ „Mess- und Sensortechnik“ und „Lichttechnik“ wählen. Ergänzt werden diese Vertiefungen durch die Wahl weiterer Veranstaltungen aus den Gebieten der Ingenieur- und Naturwissenschaften sowie weiterer Fächer aus dem Katalog „Gesellschaft, Sprachen und Umwelt“. Zur Erleichterung der Auswahl bieten wir den Studenten fünf Modellstudienpläne: „Mikrosystemtechnik“, „Mess- und Sensortechnik“, „Lichttechnik“, „Produktentwicklung“ und „Medizintechnik“ an.

Die Anfertigung einer Bachelor-Arbeit im 6. Semester und der halbjährigen Master-Arbeit beenden das Bachelor- bzw. Master-Studium.

Des weiteren ist das Institut EMK auch im ETiT-Grundstudium vertreten. Im vierten Semester wird seit 2003 das Grundlagenpraktikum ETiT III *Mess- und Sensortechnik* angeboten und die Grundlagenveranstaltung *Einführung in die Elektrotechnik* für Maschinenbauer und andere Studiengänge wird seit Sommersemester 2004 vom Institut EMK durchgeführt.

Zu den MFT-Lehrveranstaltungen werden den Studenten aktualisierte Skripte angeboten.

Im Anhang sind alle durch das Institut getragenen Vorlesungen, Übungen und Praktika überblicksartig zusammengestellt. Außerdem sind hier in Kurzform auch die wesentlichen Inhalte der Lehrveranstaltungen angegeben.

Neue Lehrveranstaltung: Seminar Mikrosystemtechnik II

Mit einer neuen Veranstaltung erweitert das Institut EMK seit dem Sommersemester 2008 sein Lehrangebot. „Mikrosystemtechnik II“ von Prof. Schlaak (vgl. Abb. 3.3) vertieft gezielt Forschungsthemen auf dem Gebiet der Mikrosystemtechnik. Um dabei möglichst flexibel auf aktuelle Inhalte eingehen zu können, wird die Veranstaltung bewusst als Seminar veranstaltet. In Teams von zwei bis drei Studenten wird ein vorgegebenes Thema aus der aktuellen Forschung am Institut erarbeitet und im Rahmen des Seminars vorgestellt. Die Studierenden trainieren auf diese Weise eigenständiges wissenschaftliches Arbeiten und angemessene Formen von Präsentation und Dokumentation – Fähigkeiten, die auf Fachtagungen, Konferenzen und in der Industrie gefordert sind. Aber natürlich gehen sie nicht unvorbereitet an diese Aufgabe: Ein Vorlesungsblock zum „wissenschaftlichen Arbeiten“ führt in die Thematik ein.

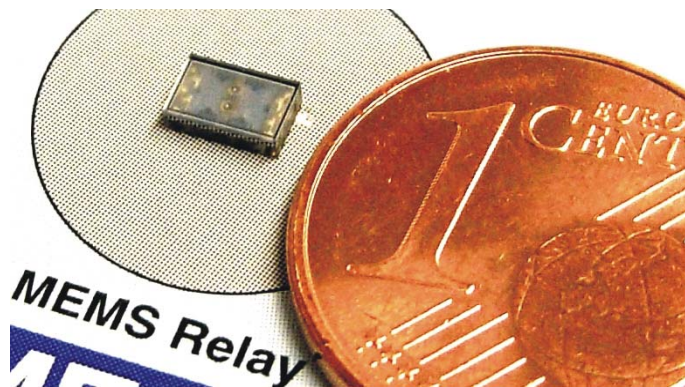


Abb. 3.3: Neue Lehrveranstaltung in Seminarform Mikrosystemtechnik II

Darüber hinaus bringt „Mikrosystemtechnik II“ noch eine weitere Besonderheit mit. Erstmals sind in eine Lehrveranstaltung des Institutes regelmäßige Vorträge von externen Referenten integriert. Dabei konnten gleich beim ersten Durchgang fünf erstklassige Experten gewonnen werden. Den Anfang machte Prof. Woias vom Freiburger Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK) am 7. Mai 2008 mit einem Beitrag über „Micro Energy Harvesting“. In einem spannenden Vortrag stellte er den Zuhörern vor, wie sich zukünftig Mikrosysteme autark mit Energie versorgen. Von allen Seiten gab es positives Feedback auf diese neue Lehrform. Der große Seminarraum des Instituts war bis auf den letzten Platz besetzt.

3.1 Vorlesungen, Übungen, Praktika (Studiengang ETiT / Studienrichtung MFT)

3.1.1 Pflichtfächer

Vorlesungen:

- **Elektromechanische Systeme I (mit Übung)** (WS 2+1)
(Werthschützky, Rausch)
- **Elektromechanische Systeme II** (SS 2+0)
(Werthschützky)
- **Technologie der Mikro- und Feinwerktechnik I (mit Übung)** (SS 2+1)
(Schlaak, Röse)
- **Technologie der Mikro- und Feinwerktechnik II (mit Übung)** (SS 2+1)
(Schlaak, Röse)
- **Mess- und Sensortechnik** (SS 2+0)
(Werthschützky)

Proseminare:

- **Proseminar ETiT Vertiefung MFT** (WS 0+1)
(Schlaak, Werthschützky, Staab)

Projektseminare:

- **Praktische Entwicklungsmethodik (PEM I bis IV)** (SS 0+2)
Bearbeitung praktischer Themenstellungen in 4er-Gruppen
und Betreuung durch Wissenschaftliche Mitarbeiter (WS 0+2)

Praktika:

- **Praktikum Messtechnik** (SS 0+2)
(Funke, Werthschützky)
- **Elektromechanische Systeme** (WS 0+3)
(Schlaak, Werthschützky, Ilgen)
Versuche zu Beispielen von elektromechanischen Systemen,
wie Aktoren, Sensoren und deren Signalverarbeitung
- **Elektrisches Messen mechanischer Größen** (SS 0+2)
(Werthschützky, Ilgen gemeinsam mit FB Mechanik /
Maschinenbau, AG Strukturdynamik, Prof. Markert)

- **Optoelektronik** (ab WS 08/09)
(Khanh)

3.1.2 Wahlpflichtfächer

Vorlesungen:

- **Mikrotechnische Systeme (mit Übung)** (WS 2+1)
Grundlagen der Mikrosystemtechnik
(Schlaak, Flittner, Schlosser)
- **Bauelemente der Feinwerktechnik** (WS 2+0)
(Blume)
- **Biomedizinische Technik** (SS 2+0)
(Kern)
- **Sensorprinzipien** (WS 2+0)
(Werthschützky)
- **Sensorelektronik** (SS 1+1)
(Werthschützky, Rafflenbeul)
- **Elektrische Kleinantriebe (mit Übung)** (WS 2+1)
(Schlaak, Hoppach)
- **Management für Ingenieure in der Elektrotechnik** (WS 2+0)
(Schlaak)
- **Montage- und recyclinggerechtes Konstruieren** (SS 1+1)
(Weißmantel, als Blockveranstaltung)
- **Lichttechnik I** (SS 2+2)
(Khanh, Groh)
- **Lichttechnik II** (WS 2+2)
(Khanh, Groh)

Praktika:

- **Produktentwicklung I** (WS 0+3)
(Schlaak, Werthschützky, Staab) (SS 0+3)
- **Produktentwicklung II** (WS 0+3)
(Schlaak, Werthschützky, Staab) (SS 0+3)

Seminare:

- **Institutsrundgang** (WS+SS 0+2)
Vorstellen der laufenden Studien- und Diplomarbeiten durch Kurzvorträge (3 Minuten) mit anschließender Diskussion in den studentischen Laborräumen: jeweils am Donnerstag 10.00 Uhr.
Am ersten Donnerstag im Monat in englischer Sprache.
- **Institutskolloquium** (WS+SS 0+2)
Präsentation der Studien- und Diplomarbeiten durch einen Vortrag (20 Minuten) mit Diskussion sowie Fachvorträge von Kooperationspartnern aus der Industrie und Instituten:
jeweils am Donnerstag 11.00 Uhr, Raum S3|06/146.
- **Mikrosystemtechnik II** (SS 2+0)
(Schlaak, Staab)

3.1.3 Lehrveranstaltungen für andere Studiengänge

Einführung in die Elektrotechnik mit Repetitorium und Übung (SS 3+1+2)
für Maschinenbauer, WI-MB, Materialwissenschaftler und andere
(Schlaak, Greiner, Wohlleber)

3.1.4 Fachexkursionen

- **Berlin 18.06. – 22.06.2007**
(Werthschützky/Ilgen)
Firmen: WIKA GmbH & Co. KG / Klingenberg, LMT Lichtmesstechnik GmbH / Berlin, Endress+Hauser / Teltow, EPCOS Aktiv Sensor GmbH / Stahnsdorf, Siemens PTD MC / Berlin, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) / Braunschweig
Teilnehmer: 20 Personen
- **München 26.05. – 30.05.2008**
(Schlaak/Ilgen)
Firmen: Daimler AG / Untertürkheim und Sindelfingen, Instrument Systems / München, SÜSS MicroTec Lithography GmbH / Garching, Siemens AG, Corporate Technology / München, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt / Oberpfaffenhofen
Teilnehmer: 22 Personen

3.2 Studienarbeiten

Im Berichtszeitraum wurden 31 Studienarbeiten bearbeitet und erfolgreich abgeschlossen. Die *Themen* der Arbeiten und Betreuer sind im *Kapitel 7* zusammengestellt. Der *Bezug* zu den Forschungsthemen ist aus *Kapitel 4* ersichtlich.

3.3 Diplomarbeiten

Im Berichtszeitraum schlossen 31 Studenten mit der Diplomarbeit ihr Studium ab. Die Themen, Bearbeiter und Betreuer der Diplomarbeiten sind ebenfalls im *Kapitel 7* zusammengestellt. Der Bezug zu den aktuellen Forschungsarbeiten ist im *Kapitel 4* ersichtlich.

Wir wünschen unseren Absolventen einen erfolgreichen Start ins Berufsleben.

4. Forschung

4.1 Fachgebiet Mikrotechnik und Elektromechanische Systeme (Prof. Schlaak)

4.1.1 Übersicht der Forschungsschwerpunkte

Elektromechanische Systeme dienen der Wandlung von elektrischen in mechanische Größen, deren Anwendungen heutzutage ein breites Spektrum aufweisen. Entsprechend der Entwicklung der Mikroelektronik seit mehreren Jahrzehnten unterliegen elektromechanische Systeme einem Wandel in der Produktionstechnik. Anstelle des seriellen Fügens vieler zuvor durch mechanische Bearbeitung geformter Einzelteile werden die funktionsbestimmenden Bauteile und Komponenten durch mikrotechnische Fertigungsverfahren hergestellt. Damit geht gleichzeitig ein Produktwandel zu höherer Leistungsfähigkeit und Miniaturisierung einher.

Aufgrund der Miniaturisierung sind mikroelektromechanische Systeme (MEMS) über die Sensorik hinaus in viele Anwendungen wie Antriebe, Robotik, Fluidik, Optik bis hin zu Hochfrequenzanwendungen (RF-MEMS) vorgedrungen. Zunehmend werden mehrere Komponenten und Subsysteme zu kompletten Mikrosystemen integriert, wobei beim Entwurf verschiedene physikalische Wandlungsprinzipien berücksichtigt werden müssen. Beispielsweise ist ein elektromechanischer Antrieb nicht mehr wie in der Makrowelt allein durch ein elektromagnetisches Prinzip realisierbar, sondern elektrostatische, piezoelektrische, elektrothermische sowie fluidische Systeme sind ebenso zu untersuchen.

Gegenwärtig sind folgende Entwicklungstrends in der Mikrotechnik absehbar:

- Integrierte Mikro-Elektromechanische Systeme (MEMS) etablieren sich mit Hilfe der Silizium-Oberflächentechnologie und der Tiefentrockenätztechnik (DRIE) vorwiegend auf dem Gebiet der Sensorik.
- Eine zunehmende Durchdringung der Mikrotechnik erfolgt in verschiedenen Anwendungsbereichen der Aktorik, Fluidik und Optik.
- Kostengünstige Fertigungstechnologien für relativ großflächige Komponenten in Submikrometer-Präzision werden eingeführt, z.B. Mikroabformverfahren, Low-Cost-LIGA (Metallgalvanik, Tiefenlithographie)
- Ergänzung der Mikrotechnik durch Präzisionsbearbeitungsverfahren wie Laserbearbeitung, Mikrozerspanung sowie Aufbau- und Verbindungstechnik.

- Neben Silizium etablieren sich Werkstoffe wie Glas, Keramik und Kunststoffe in der Mikrotechnik.
- Die Kunststofftechnologie wird in großer Breite für die Mikrotechnik erschlossen.
- Piezoelektrische Antriebe zeigen eine hohe Leistungsdichte und werden sich in vielen Anwendungen nach den massenhaften Pilotanwendungen in der Automobiltechnik verbreiten.
- Zunehmende Integration von Objekten der Nanotechnologie in Mikrosysteme (Mikro-Nano-Integration)

Aus den ersten beiden 2004 fertig gestellten Dissertationen entstanden inzwischen Arbeitsgebiete, die konsequent zu Kernkompetenzen ausgebaut werden konnten, nämlich – die Mikropositionierung auf der Basis monolithischer kinematischer Strukturen (Dissertation U. Jungnickel) und die dielektrischen Polymeraktoren (DEA) mit der bisher weltweit einmaligen Multilayertechnologie für elektrostatische Festkörperaktoren mit elastischen Dielektrika (Dissertation M. Jungmann).

Im Berichtszeitraum 2007-2008 wurde an dem vom BMBF geförderten Projekt INKOMAN (Intrakorporaler Manipulator, siehe *Abschnitt 4.3*) mit 4 wissenschaftlichen und einem technischen Mitarbeiter gearbeitet. Dieses Projekt bildet einen Teil des Großprojekts FUSION (Future Environment for Gentle Liver Surgery Using Image-Guided Planning and Intra-Operative Navigation) mit etwa 20 Partnern.

Im Rahmen einer Ausschreibung des BMBF gelang es Anfang 2007, ein Verbundprojekt INANOMIK (siehe *Abschnitt 4.1.2*) mit Partnern aus dem mst-Netzwerk Rhein-Main e.V. zu starten, in dem die Herstellung und Montage von metallischen Nanodrähten in Mikrosystemen bearbeitet wurde. Dieses Projekt hat ein neues Arbeitsgebiet der Mikro-Nano-Integration eröffnet.

Im Oktober 2008 wurde gemeinsam von der Technischen Universität Darmstadt und dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (LBF) im Rahmen der LOEWE-Initiative der Landesregierung (Landesoffensive zur Entwicklung wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz) ein Adaptronik-Zentrum gegründet, in dem mehrere Fachgebiete des Fachbereichs Elektrotechnik und Informationstechnik mitwirken. Für das Institut EMK wurden 3 Stellen für wissenschaftliche Mitarbeiter bewilligt, die sich dem Technologiebereich „Aktoren und Sensoren“ widmen werden.

Nach der Entwicklung der letzten 5 Jahre wurden die Forschungsarbeiten im Fachgebiet „Mikrotechnik und Elektromechanische Systeme“ in die drei Arbeitsgebiete

Mikroelektromechanische Systeme (MEMS), Dielektrische Elastomeraktoren (DEA) und Robotik mit ihren jeweiligen Anwendungen gegliedert (Abb. 4.1).

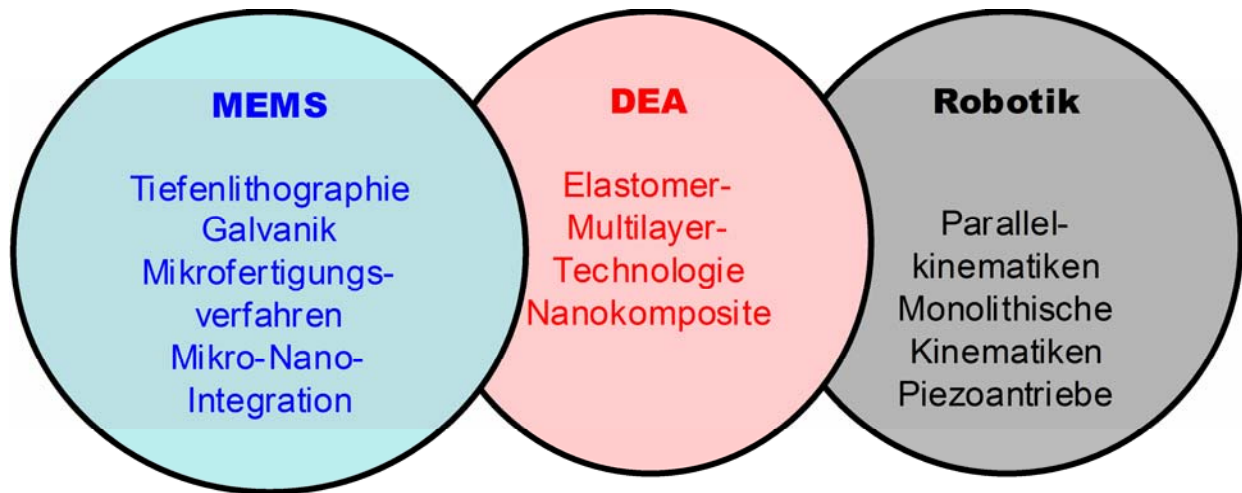


Abb. 4.1: Technologische Ausrichtung der Arbeitsgebiete in der Forschung am Fachgebiet „Mikrotechnik und Elektromechanische Systeme“

Zu diesen Arbeitsgebieten gehören die im Folgenden aufgeführten Forschungsthemen:

- **Mikroelektromechanische Systeme (MEMS)**
 - Miniaturisierte Schrittantriebe mit elektrothermischen Mikroaktoren (D. Eicher)
 - Bistabile Mikrorelais (M. Staab)
 - RF-MEMS – Mikroaktorisch abstimmbare Mikrowellenkomponenten – Graduiertenkolleg TICMO (DFG) (A. Kohlstedt)
 - Mikro-Nano-Integration – BMBF-Projekt INANOMIK (F. Greiner)
 - Galvanische Mikrostrukturierung – BMBF-Projekt INFUNK (M. Schlosser)
- **Dielektrische Elastomeraktoren (DEA)**
 - Multilayertechnologie für elektrostatische Hochleistungsaktoren mit elastischen Dielektrika (M. Matysek, P. Lotz, K. Fittner)
 - Darstellung taktiler Informationen durch dielektrische Elastomeraktoren (M. Matysek)
 - Peristaltische Fluidförderung mit dielektrischen Polymeraktoren – DFG-Paketantrag „Integrierte mechatronische Fluidfördersysteme“ (P. Lotz)

- Ventildantriebe zur Gasflusssteuerung – BMBF-Projekt INFUNK „Integration neuartiger Funktions- und Konstruktionswerkstoffe“ (K. Flittner)
- Integrierte Sensor-Aktor-Systeme auf der Basis dielektrischer Polymeraktoren zur Erfassung und Kompensation örtlich verteilter Schwingungen – LOWE-Zentrum Adaptronik (NN)

- **Robotik**

- Miniaturisierte intrakorporale kinematische Strukturen für die minimal-invasive Chirurgie – BMBF-Projekt INKOMAN (A. Röse)
- Piezoelektrische Antriebe für die minimalinvasive Chirurgie – BMBF-Projekt INKOMAN (C. Wohlleber)
- Dynamisches Weißlicht-Interferometer für den Mikro- und Nanobereich - BMBF-Verbundprojekt DyNaMo (M. Kohlstedt)
- Intelligente adaptive Ultraschallaktorik – LOWE-Zentrum Adaptronik (NN)

4.1.2 MEMS Aktoren

♦ Mikrostrukturierte Schrittantriebe

Bearbeiter: Dirk Eicher

Bearbeitungszeitraum: 01.10.2002 – 31.07.2008

Ziel dieser Arbeit war die Weiterentwicklung und Miniaturisierung der am Institut entwickelten monolithischen Schrittantriebe auf Basis des Inchwormprinzips (Dissertation U. Jungnickel, 2004). Mittels tiefenlithographischer Strukturierung von SU-8 wird der Übergang vom miniaturisierbaren zum miniaturisierten Antrieb vollzogen (Abb. 4.2).

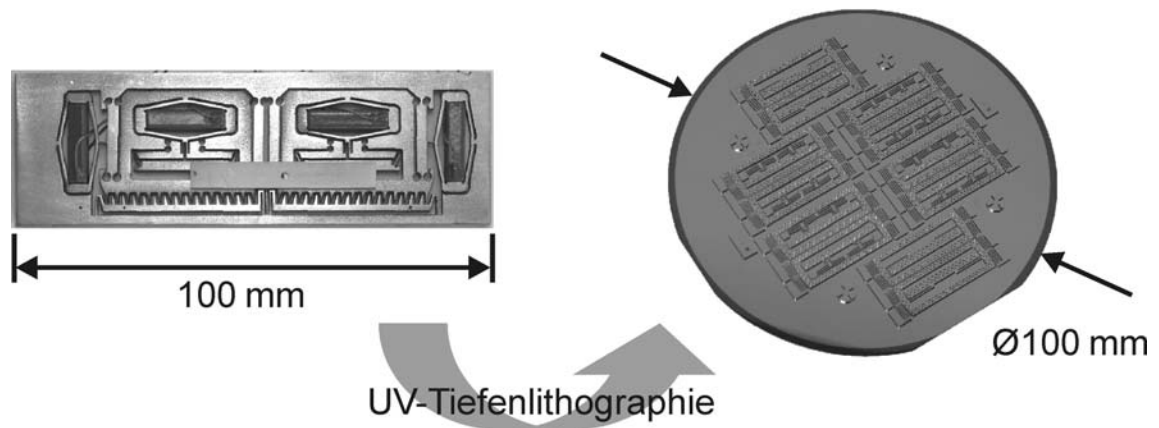


Abb. 4.2: Mikroschrittantrieb; Überführung von feinwerktechnischer in mikrotechnische Fertigung

Miniaturisierte Inchwormplattform aus SU-8

Das Antriebsprinzip beruht auf wechselseitigem Klemmen und Vorschieben eines Läufers. Dies wird durch die koordinierte Ansteuerung von je zwei elektrothermischen Vorschub- und Klemmaktoren realisiert. Durch Summation von Einzelschritten werden Stellwege von 20 mm bei Schrittweiten von 10–50 μm erreicht. Mit den elektrothermischen Aktoren sind dabei im Vergleich zu elektrostatischen oder piezoelektrischen Wandlern große Auslenkungen und Kräfte möglich. Die Auslegung des elektro-thermo-mechanischen Systems erfolgt anhand nichtlinearer, gekoppelter Finite-Elemente-Simulation (ANSYS), die Charakterisierung mittels Bildverarbeitung auf einem Motion-Analyzer (siehe Kapitel 7, [DA 1644]). Die Verfahrensgeschwindigkeit der Antriebe wird bisher durch die geringe Wärmeleitfähigkeit des polymeren Werkstoffes begrenzt. Eine Steigerung ist durch den Einsatz von SU-8-Nanokompositen oder galvanisch abgeschiedener Nickelstrukturen zu erwarten. Die hierfür erforderlichen Technologien werden in separaten Forschungsprojekten erarbeitet (siehe Mikro-Nano-Integration, F. Greiner; Galvanische Mikrostrukturierung, M. Schlosser).

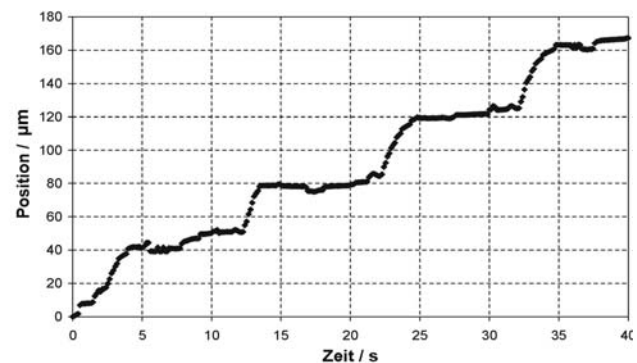
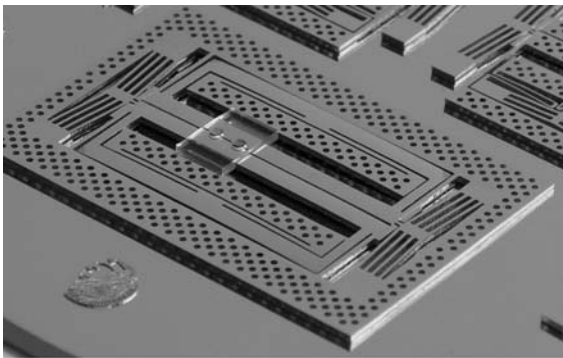


Abb. 4.3: Miniaturisierte Inchwormplattform (32 mm x 22 mm), Weg-Zeit-Diagramm

Bistabile Mechanismen

Zur Verbesserung der Effizienz des gesamten Antriebssystems wurden bistabile Mechanismen aus SU-8 untersucht und hergestellt (Abb. 4.4). Damit ist es möglich, Klemm-Mechanismen zu realisieren, die den Läufer stromlos in einer beliebigen Position halten können.

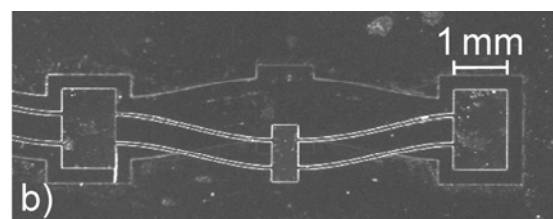
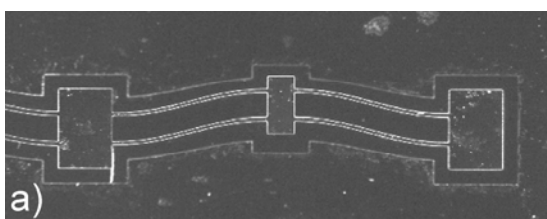


Abb. 4.4: Bistabiler Mechanismus aus SU-8: a) erste stabile Position (Zustand nach der Herstellung), b) zweite stabile Position

Mikrotechnische Fertigung

Die Fertigung der Schrittantriebe erfolgt mittels tiefenlithographischer Strukturierung von SU-8, wobei die elektrothermischen Aktoren durch Aufbringen einer metallischen Heizelektrode integriert werden. Bewegliche Federstrukturen werden dabei mit Hilfe einer Opferschicht aus galvanisch abgeschiedenem Kupfer oder unvernetztem SU-8 realisiert. Als Substrate werden Silizium-Wafer oder alternativ das kostengünstige Platinenbasierte Material FR-4 eingesetzt.

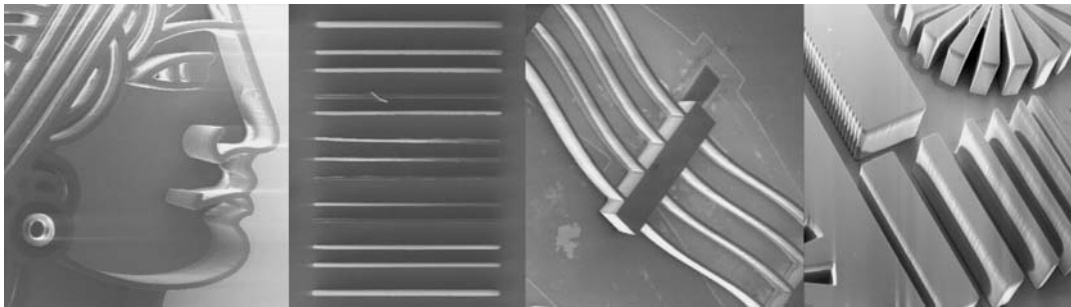


Abb. 4.5: Tiefenlithographisch hergestellte Strukturen aus SU-8

◆ Bistabile Mikrorelais

Bearbeiter: Matthias Staab

Bearbeitungszeitraum: 18.06.2007 – 15.06.2012

Auf Basis von verschiedenen Forschungsergebnissen zu Mikrorelais soll ein neues Konzept mit wesentlich gesteigertem Leistungsumfang entwickelt und als Labormuster realisiert werden. Der Schwerpunkt soll dabei auf der Optimierung der MEMS-Aktorik in Bezug auf große Stellwege (ca. 50 μm) und große Kräfte (ca. 5 mN) liegen.

Entwicklung eines bistabilen Mikrorelais

Die Motivation zum Forschungsthema wird im Folgenden stichpunktartig dargestellt:

- Bistabil: Eliminierung der Leistungsaufnahme im Ruhezustand
- Mikro: Verringerung der Baugröße, Einsparung von Kosten durch Batchfertigung, Eliminierung der Montagekosten, Verringerung der Materialkosten
- Relais: Galvanische Trennung von Last- und Steuerkreis, niedriger On-Widerstand im Lastkreis, unendlicher Off-Widerstand im Lastkreis, hoher Umsatz auf dem Relaisweltmarkt (4,66 Mrd. \$ in 2001)

Mögliche Anwendungsgebiete für Mikrorelais finden sich vor allem in der Telekommunikationsbranche. So können sie als Umschalter bei Funktionstests von Line-cards

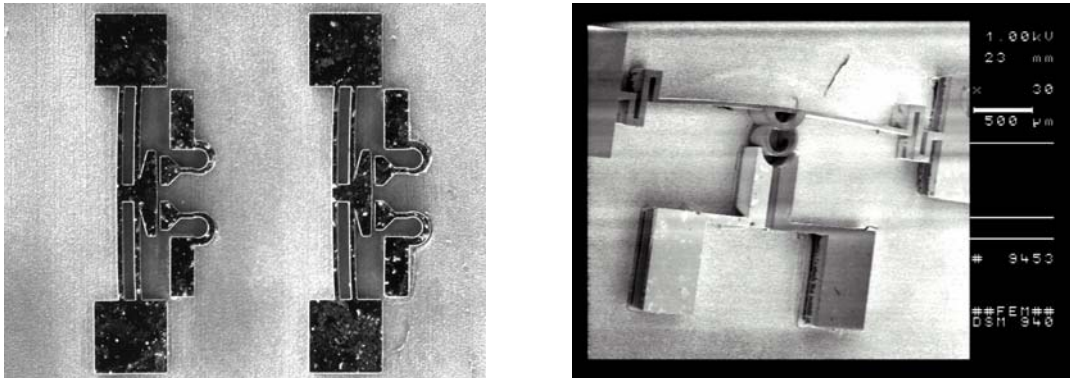


Abb. 4.6: REM-Aufnahme (links) und Lichtmikroskopaufnahme (rechts) von Teststrukturen zu bistabilen Schaltern

(DSL & ISDN) oder zur Rekonfiguration von Telefonleitungen zwischen Serviceprovider und Hausanschluss in Form einer $n \times n$ -Schaltmatrix eingesetzt werden.

Der Stand der Technik weist über hundert MEMS-Relaiskonzepte auf. Kommerziell ist allerdings bisher keine Variante erhältlich. Diese Tatsache gibt Anlass, die Schwachstellen existierender Konzepte zu analysieren und ein eigenes MEMS-Relaiskonzept auf Basis der am Institut EMK vorhandenen Reinraum-Prozesse zu entwickeln.

Bei der Entwicklung von Mikrorelais gibt es einige zentrale Problemstellungen wie Gehäusung, Mikroschaltkontakte (vgl. Abb. 4.6), Langzeitstabilität, Energieeffizienz und Aktorik. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit muss daher ein Schwerpunkt gewählt werden, der detailliert betrachtet und optimiert wird. Die Wahl fällt auf das Themengebiet Mikroaktuatorik, die speziell im Hinblick auf Energieeffizienz, d.h. möglich bistabiles Verhalten entwickelt wird.

Um die zum Einsatz kommende Aktorik und letztlich das gesamte Mikrorelais zu charakterisieren, wird parallel die notwendige Messtechnik entwickelt. Sie umfasst zwei Systeme:

Motion-Analyzer (MEMS-Analyzer)

Der Motion-Analyzer (vgl. Abb. 4.7) ist in der Lage mit Hilfe von Bildverarbeitung Mikroaktoren statisch und dynamisch zu untersuchen (vgl. Tabelle 4.1). Dabei werden zum aktuellen Projektstand laterale Auslenkungen von Aktoren und die zugehörigen elektrischen Größen aufgezeichnet.

Tabelle 4.1: Wichtige Leistungsdaten des Motion-Analyzers

Messfeldgröße	2,4 x 2,4 – 11,7 x 11,7 mm ²
Wiederholgenauigkeit	< 30 nm
Auflösungsvermögen	< 1,15 µm
Betriebsfrequenzbereich	0 bzw. 100 mHz - 11 kHz

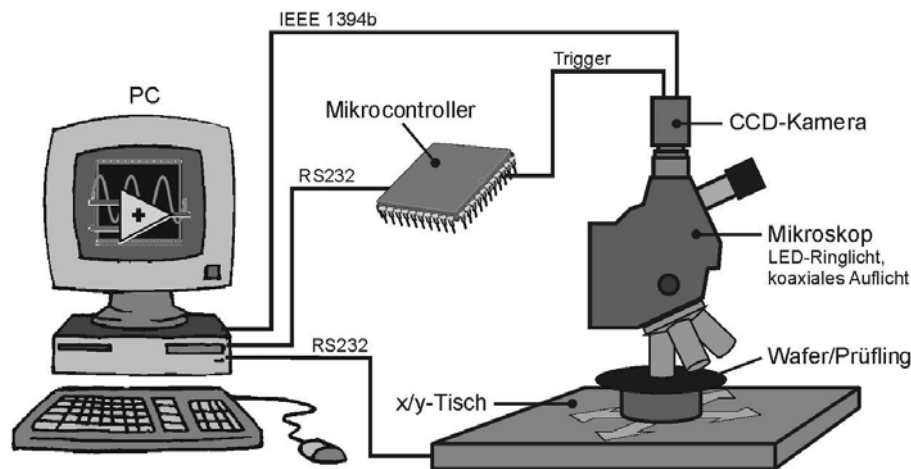


Abb. 4.7: Motion-Analyzer zur mechanischen und elektrischen Charakterisierung von Mikrostrukturen

Dynamische 4-Kanal-Stromquelle

Mit Hilfe der 4-Kanal-Stromquelle (vgl. Tabelle 4.2) ist es möglich, stromgesteuerte Aktoren dynamisch anzuregen und ihr mechanisches Verhalten z.B. mit dem Motion-Analyzer zu charakterisieren. Bei dem entstandenen Aufbau handelt es sich um ein Tischgerät, das über eine LabVIEW-Software bedienbar ist.

Tabelle 4.2: Wichtige Leistungsdaten der dynamischen 4-Kanal-Stromquelle

Maximale Spannung	24 V
Maximaler Strom	1000 mA
Betriebsfrequenzbereich	0 bzw. 100 mHz - 25 Hz

♦ **RF MEMS - Mikroaktorisch abstimmbare Mikrowellenkomponenten**
(Stipendium im Rahmen des Graduiertenkollegs TICMO)

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Helmut F. Schlaak

Bearbeiter: Anika Kohlstedt

Bearbeitungszeitraum: 01.09.2008 – 31.12.2011

Motivation

Anwendungsfelder von steuerbaren, integrierbaren Komponenten der Mikrowellentechnik und Optik (TICMO = Tunable Integrated Components in Microwave Technology and Optics) finden sich sowohl in drahtlosen Sensorsystemen mit elektromagnetischer Kopplung, als auch in Funkkommunikationssystemen, sowie optischen Kommunikationssystemen und -netzen. Zur Verwirklichung raumagiler Antennensubsysteme mit elektronisch steuerbarer Strahlfokussierung, Strahlschwenkung oder -formung sind besonders im höheren Frequenzbereich (GHz-Bereich) elektronisch steuerbare Antennensubsysteme mit steuerbaren Phasenschiebern und/oder Dämpfungsgliedern von Bedeutung. Diese finden z.B. Anwendung in der miniaturisierten Radarsensorik für den Automobilbereich, der Industriesensorik oder der Medizintechnik zur Diathermie und Hyperthermie.

Abstimmbare Mikrowellenkomponenten

Zur Realisierung steuerbarer Komponenten für den Hochfrequenzbereich werden im Rahmen des Graduiertenkollegs verschiedene Technologien verfolgt. Die Steuerbarkeit von elektrischen, magnetischen oder mikromechanischen Eigenschaften über äußere Spannung, Strom oder Temperatur soll zum einen mittels Funktionsmaterialien mit veränderbaren physikalischen Eigenschaften (nichtlineare keramische Dielektrika, Flüssigkristalle, Metamaterialien) und zum anderen mittels mikroaktiver Techniken (MEMS) erreicht werden.

Hierzu sollen die Erfahrungen am Institut im Bereich der Mikrostrukturierung genutzt und weiterentwickelt werden, wie z.B. in der UV-Tiefenlithographie, der Galvanoabformung zur Herstellung dreidimensionaler Strukturen in Opferschichtprozessen, Ätzverfahren (nasschem., Trockenätzen) zum Übertrag von Strukturen in das Substrat, sowie zur Entfernung von Opferschichten, und Bondverfahren zur Verbindung einzeln strukturierter Elemente zu einem Bauteil.

So werden in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Mikrowellentechnik mit Hilfe der UV-Tiefenlithographie Kavitäten für aktiv abstimmbare Dielektrika (Flüssigkristalle) hergestellt (s. Abb. 4.8). Über die Änderung eines von außen angelegten elektrischen Feldes ist es möglich die relative Permittivität des Flüssigkristalls (Liquid Crystal - LC) zu steuern, worüber man gezielt die Phase reflektierter Hochfrequenzwellen einstellen kann. Dieser Effekt wird im Fachgebiet Mikrowellentechnik der

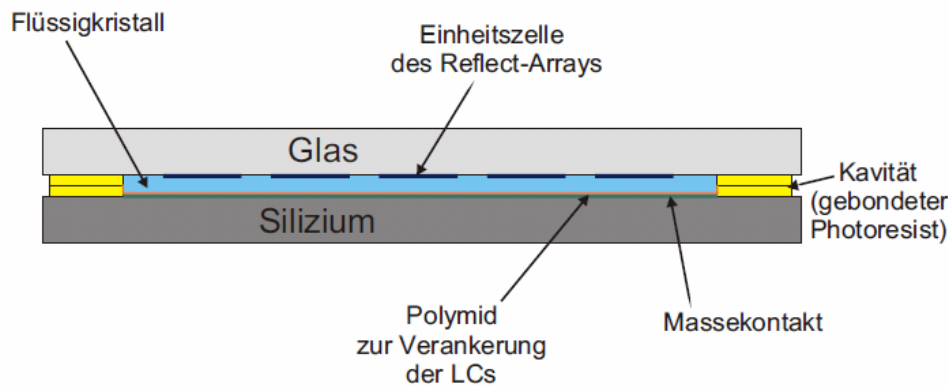


Abb. 4.8: Schematische Darstellung des geplanten Schichtsystems eines Reflectarrays. Die Flüssigkristalle befinden sich in einer Kavität aus gebondetem SU-8, die mehrere Einheitszellen des Arrays umfasst.

TU Darmstadt für Reflectarrays ausgenutzt, bei denen die Laufzeitunterschiede der reflektierten Wellen durch die elektrische Ansteuerung von LC-Einheitszellen eingestellt werden.

Neben der Weiterentwicklung der Mikrostrukturierungstechniken liegt das Hauptaugenmerk des Projektes auf der Entwicklung und Herstellung mikroaktorisch abstimmbarer Komponenten für den Höchstfrequenzbereich, wie Phasenschieber, abstimmbare Filter oder Kapazitäten/Varaktoren. Die Herausforderung hierbei liegt in der Abstimmung von Material und Technologie für Anwendungen in einem möglichst weiten Frequenzbereich von 1 – 100GHz. Zu beachtende Größen sind hierbei der Q-Faktor, die Reichweite der einstellbaren Kapazität, die erforderliche Aktivierungsenergie und die Kompatibilität zu Fertigungsverfahren anderer Hochfrequenzbauteile im Hinblick auf den Einsatz in integrierten Hochfrequenzschaltungen.

♦ Mikro-Nano-Integration - BMBF-Projekt INANOMIK

Bearbeiter: Felix Greiner

Bearbeitungszeitraum: 01.05.2007 – 30.04.2008

Das Thema des Förderprojektes „Integration und Anwendung von Nano-Drähten durch Mikro-Nano-Fabrikation und Mikro-Montage“ umfasst die Entwicklung von Mikrostrukturierungsverfahren und Nanomaterialien, die für das Packaging und zur Mikro-Montage von Nanodrähten gebündelt zum Einsatz kommen.

Die Integration nanoskaliger Materialien und Bauteile in Verfahren der Mikrostrukturierung, also der dreidimensionalen Formgebung, wird hier als Mikro-Nano-Fabrikation bezeichnet.

Beteiligte Einrichtungen:

Technische Universität Darmstadt
Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik
Institut für Elektromechanische Konstruktionen (EMK)
Prof. Dr.-Ing. Helmut F. Schlaak
Dipl.-Ing. Felix Greiner
Dipl.-Ing. Michael Schlosser

Technische Universität Darmstadt
Fachbereich Material- und Geowissenschaften
Fachgebiet Disperse Feststoffe
Prof. Dr. rer. nat. Ralf Riedel
Dr. rer. nat. Emanuel Ionescu

Fachhochschule Wiesbaden
Fachbereich Ingenieurwissenschaften
Institut für Mikrotechnologien Imtech
Prof. Dr. habil. F. Völklein
Dipl.-Ing. (FH) Heiko Reith
www.physik.fh-wiesbaden.de

GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH
Abteilung Materialforschung
Prof. Dr. Reinhard Neumann
Dr. Christina Trautmann
Dipl.-Chem. Markus Rauber
(in Kooperation mit TUD, Fachgebiet Chemische Analytik, Prof. Dr. W. Ensinger)

www.gsi.de/mr

Assoziierte Partner:

arteos GmbH
Hr. Winfried Korb
<http://www.arteos.com/>

sgt Sensorberatung Dr. Guido Tschulena
Dr. Guido Tschulena
<http://www.sgt-sensor.de/>

Hintergrund

Nano-Drähte und nanoskalige Materialien aus der Grundlagenforschung bieten funktionale Potentiale, wobei die Herausforderung in der Handhabung liegt. In diesem Vorhaben werden entscheidende Funktionalitäten durch den Einsatz von Nanostrukturen und Nanomaterialien realisiert, die isoliert für sich nicht handhabbar sind.

Erst durch die Integration mit Technologien aus der Mikrosystemtechnik können die nanoskaligen Komponenten zum Einsatz kommen. Das Konzept in Abb. 4.9 sieht vor, Nanodrähte nach ihrer galvanischen Abscheidung im Templat zu belassen, freizustellen und in klassischer Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) zu montieren.

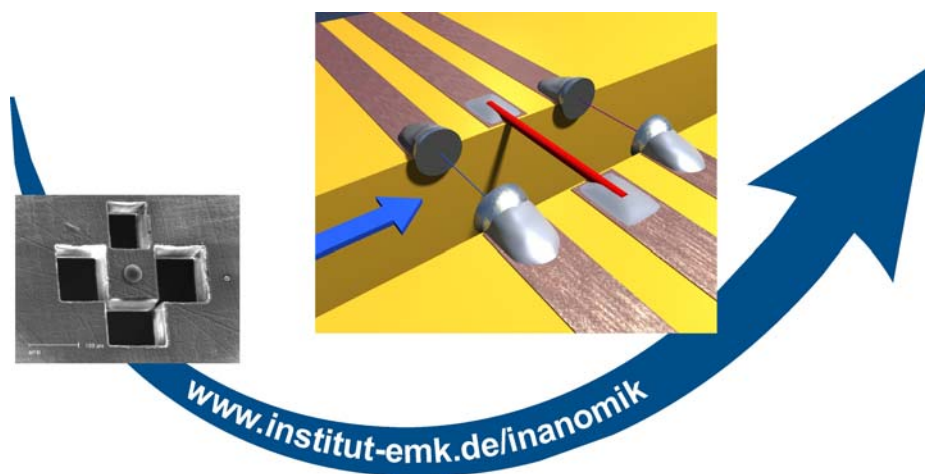


Abb. 4.9: Konzept für die Nanodrahtintegration in einen Mikro-Gasströmungssensor, der nach dem Anemometerprinzip funktioniert

Ziele des Vorhabens

- Die wissenschaftliche Machbarkeit für die spätere industrielle Herstellung eines Mikro-Nano-Gassensors untersuchen.
- Ein grundsätzliches Vorgehen für das Montieren und Packaging von runden Nano-Komponenten wie Nano-Drähte entwickeln.
- Die Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) durch strukturierbare Materialsysteme mit neuartigen Eigenschaften aufgrund von Nanopartikeln zu neuen Funktionalitäten führen.

Ergebnisse

- Verschiedene Konzepte zur Nano-Draht-Montage im Mikrosystem sind erarbeitet worden.
- Die Selbstausrichtung zur Nanodrahtmontage wurde erfolgreich erprobt.

- Die Mikrostrukturierung des Nanodraht-Trägers erlaubt die Integration in klassische Mikro-AVT, vgl. Abb. 4.10.
- Das insitu-Wachstum der Drähte eröffnet neue Möglichkeiten der wirtschaftlichen Mikro-Nano-Fabrikation.
- Epoxidharzbasierte Photolacke wurden nano-partikulär ausgestattet und für die Verarbeitung mit klassischen Verfahren optimiert. (Füllstoffe:: Al_2O_3 , \varnothing 13 nm; TiO_2 , \varnothing 21 nm; AlN , \varnothing 40 nm; Diamant, \varnothing 700 nm; Multi-Walled Carbon-Nanotubes MWCNT, \varnothing 80 nm, $L = 4 \mu\text{m}$; Füllstoffgehalte 5...20 Vol.-%)
- Mit Nanopartikeln funktionalisierte Photoresiste (SU-8) lassen sich in UV-Lithographie strukturieren (Aspektverhältnisse von 0,5:1 bis 7:1)
- Die Aktivitäten im Bereich der Mikro-Nano-Integration haben zur Gründung des Arbeitskreises Mikro-Nano-Integration im Mikrosystemtechnik-Netzwerk Rhein Main e.V. Kompetenznetzwerk Mikrosystemtechnik geführt. Die Akteure sind ebenfalls im GMM-Fachausschuss 4.7 Mikro-Nano-Integration vertreten.

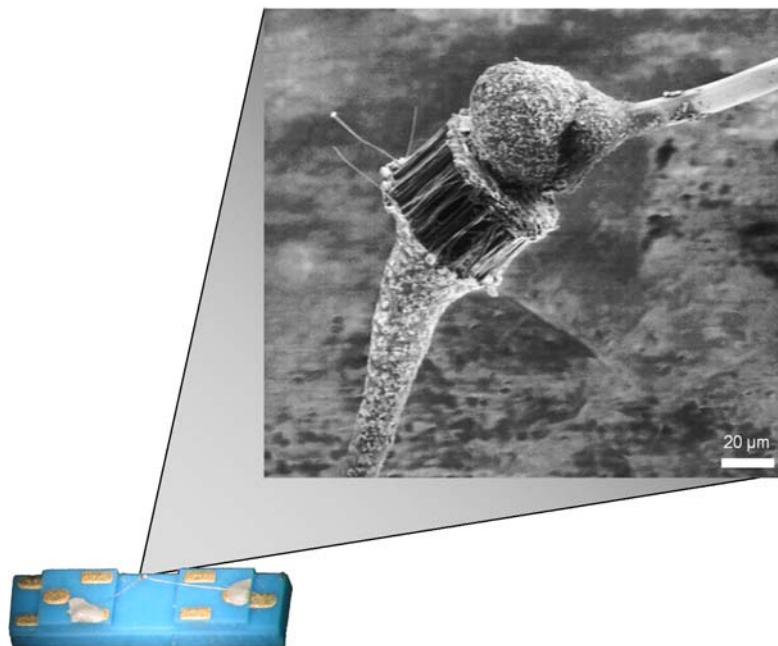


Abb. 4.10: Platin-Nanodrahtarray integriert in einem Mikro-Gasströmungssensor

♦ Galvanische Mikrostrukturierung – BMBF Projekt INFUNK

Bearbeiter: Michael Schlosser

Bearbeitungszeitraum: 01.07.2007 – 30.04.2011

Motivation

Anknüpfend an bisherige Forschungsarbeiten von C. Wohlgemuth, soll der Anwendungsbereich für galvanisch abgeschiedene, metallische Strukturen erweitert werden. In der Arbeit von C. Wohlgemuth sind ebene Membranstrukturen für Drucksensoren entstanden. Im Vergleich hierzu sollen die hergestellten Strukturen eine dreidimensionale Ausdehnung aufweisen. Diese Metallstrukturen können z.B. an die Forschungsarbeit von D. Eicher anknüpfen und als elektrothermische Aktoren Verwendung finden. Aber auch komplexe passive Strukturen wie mechanische Feder-elemente sind möglich. Neben diesen mechanischen Funktionen ermöglichen diese metallischen Strukturen auch den Anwendungsbereich für thermische bzw. elektrische Leiter.

Lithographie - Galvanik-Strukturierung (LIGA)

Bisher werden für die funktionsbestimmenden Elemente zum Aufbau von mikromechanischen Strukturen der Negativresist EPON SU-8 am Institut EMK verwendet. Mittels photolithographischer Strukturierung können hiermit Funktionselemente direkt hergestellt werden.

Weiter kann der Photoresist nun auch als Form für eine elektrochemische Abscheidung eingesetzt werden. So ist hier eine Optimierung der Prozessführung für SU-8 auf metallischen Substraten durchgeführt worden, die für eine galvanische Abformung nötig sind. Allerdings ist ein Entfernen des Photoresist EPON SU-8 nur mit aufwendigen Plasmaätzverfahren möglich. Eine Alternative zu den SU-8-Photoresisten bieten Positivresiste, wie AZ-9260. Dieser Resist bietet gegenüber SU-8 erhebliche Vorteile bezüglich einer Resistentfernung nach dem Entwickeln. Die benötigte Säurestabilität für die Galvanoabformung ist aber gewährleistet.

Nachteilig an dem Positivresist AZ-9260 ist allerdings die geringere optische Transparenz des Werkstoffes. Für hohe Lackschichten mit einem guten Aspektverhältnis ist dies ein bestimmender Parameter. So ist dieser Photolack in einem Belackungsschritt „nur“ auf eine nominale Dicke von ca. 35 µm aufzuschleudern. Bei SU-8 sind hier Schichtdicken > 500 µm möglich. Durch eine Mehrfachbelackung können aber auch mit AZ-9260 Schichtdicken bis ca. 140 µm ohne größeren Aufwand hergestellt werden. Für höhere Schichtdicken ist der Resist nicht mehr ohne Weiteres einsetzbar. Die galvanische Abscheidung erfolgt nach dem Strukturieren des Photoresists in die entstandenen Kavitäten.

Freitragende Strukturen lassen sich in einer Mehrfachbelackung prozessieren (Abb. 4.11). Hierzu wird in die erste strukturierte Lackschicht galvanisch eine Kupferopferschicht abgeschieden. Die funktionsbeschreibenden Bereiche sind in diesem Fall noch mit Photolack gefüllt. Nach dem Entfernen des Resists werden diese mit Nickel galvanisch aufgefüllt. Nach einem Planarisierungsschritt durch Läppen und Polieren erfolgt das Aufbringen der eigentlichen Funktionsschicht. Diese Schicht ist wiederum photolithographisch strukturiert und z.B. mit Nickel abgeformt. Am Ende lässt sich die Kupferopferschicht mit einer hohen Selektivität zu Nickel ätzen. Mit entsprechenden Prozessschritten lassen sich nahezu beliebige dreidimensionale Strukturen herstellen.

Anwendung

Im BMBF-Förderprojekt INFUNK - Integration neuartiger Funktions- und Konstruktionswerkstoffe und deren Anwendung in einem miniaturisierten Ventilsystem soll ein miniaturisiertes Gasventilsystem entwickelt und als Labormuster aufgebaut werden. Als aktive Komponente kommen dielektrischen Elastomeraktoren zum Einsatz.

Die zuvor vorgestellten galvanisch abgeformten Metallstrukturen dienen in diesem Ventil als Rückstellfedern und unterstützen so die Funktion der Elastomeraktoren. Mit dieser Technologie ist die Fertigung komplexer miniaturisierter kinematischer Strukturen kostengünstig möglich (siehe Abschnitt 4.1.3 Dielektrische Elastomeraktoren).

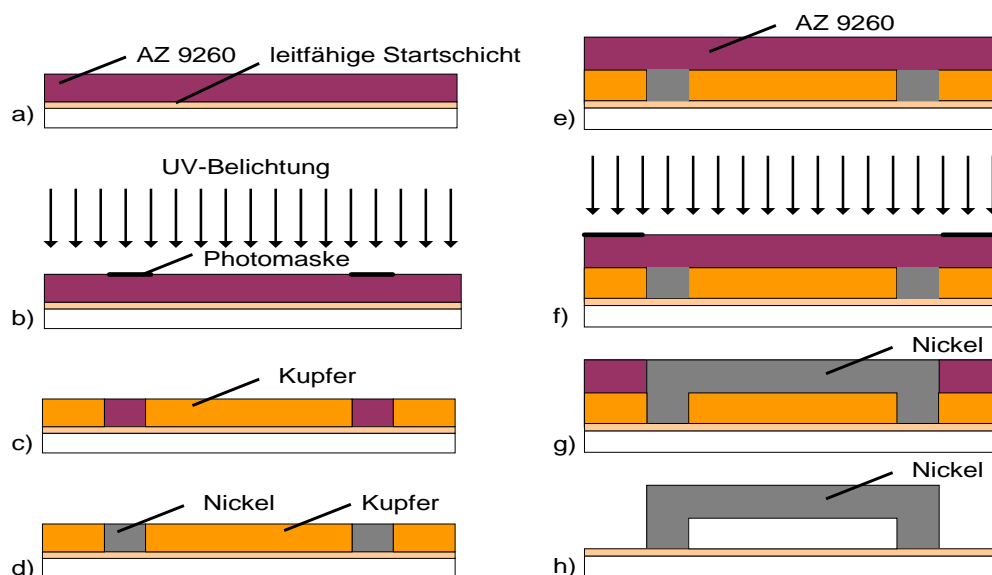


Abb. 4.11: a) Photolack AZ-9290 auf Substrat, b) UV-Belichtung über Schattenmaske, c) Entwickeln des Photolacks und galvanische Abscheidung von Kupfer, d) Entfernen des Photolacks und galvanisch erzeugte Ankerpunkte aus Nickel, e) Zweite Ebene Photolack aufbringen, f) UV-Belichtung über Schattenmaske, g) Entfernen des Photolacks und galvanische Abscheidung von Nickel, h) Freilegen der Struktur durch nasschemisches Ätzen der Kupferstartschicht

4.1.3 Dielektrische Elastomeraktoren

♦ Allgemeiner Überblick

Unter dem Begriff Elektroaktive Polymere (EAP) werden eine Vielzahl von Werkstoffen zusammengefasst, deren Gemeinsamkeit in der Gestaltänderung unter dem Einfluss elektrischer Ladungen besteht. Die zugrundeliegenden Wirkmechanismen sind sehr verschieden, können jedoch grundsätzlich nach ionischen und elektronischen Effekten eingeteilt werden. Bei der ersten Gruppe beruht die Gestaltänderung auf der Bewegung von Ionen innerhalb des Materials. Diese Bewegung wird bereits bei sehr niedrigen Ansteuerspannungen von wenigen Volt hervorgerufen. Da die Geschwindigkeit der Ionen langsam ist, liegen die Grenzfrequenzen dieser Materialien in der Regel im Bereich unter 10 Hz.

Im Bereich der elektronischen EAP sind die dielektrischen Elastomeraktoren (DEA) die am häufigsten verwendeten Materialien. Den großen Vorteil gegenüber den ionischen Polymeren bezüglich Grenzfrequenzen bis in den Kilohertz-Bereich und größeren erzeugbaren Kräften muss man jedoch mit hohen Ansteuerspannungen erkaufen. Je nach Aufbau der dielektrischen Elastomeraktoren können diese Spannungen bei bis zu 10 kV liegen.

Im Rahmen der Forschungsarbeiten von Markus Jungmann (1999-2004) wurde zum ersten Mal eine Technologie zur automatisierten Herstellung von gestapelten dielektrischen Elastomeraktoren mit Einzelschichtdicken unter 50 μm hergestellt (Abb. 4.12). In den letzten Jahren wurde diese Technologie stetig weiterentwickelt, sodass nun Aktoren mit definierten Schichtdicken bis hinab zu 5 μm und einer sehr reproduzierbaren Elektrodenqualität gefertigt werden können.

Die Darmstädter Dielektrischen Aktoren waren die ersten weltweit, deren Betriebsspannungen „nur“ im Bereich bis 1,5 kV lagen. Darüber hinaus ist die hier entwickelte Technologie immer noch die einzige, die in der Lage ist, Aktorelemente mit Strukturbreiten von 1 mm in einen Silikonkörper mit einer Dicke von einigen Millimetern und einem Durchmesser der gesamten Anordnung von typischerweise 40 mm zu integrieren.

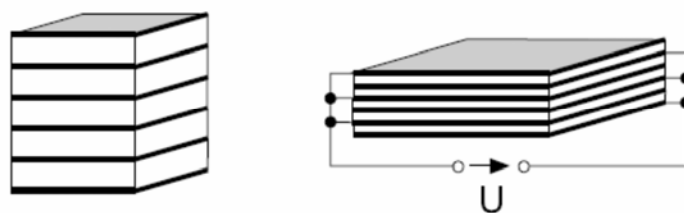


Abb. 4.12: Dielektrischer Elastomerstapelaktor im Ruhezustand (links) und unter Spannung kontrahiert (rechts)

Es lassen sich also sehr einfach Aktorfelder herstellen, die für verschiedene Anwendungen genutzt werden können. Die Arbeitsgruppe Dielektrische Elastomeraktoren von Prof. Schlaak betreibt die Entwicklung der Herstellungstechnologie im Hinblick auf vier sehr unterschiedliche Anwendungen:

- Darstellung taktiler Informationen
- Miniaturisierte peristaltische Fluidförderung (DFG-Förderung 2005-2008)
- Ventildantriebe zur Gasflusssteuerung (BMBF-Förderung 2008-2010)
- Aktive Schwingungsbeeinflussung (LOEWE-Förderung 2008-2011)

Im Folgenden werden nun noch ausführlich die aktuellen Arbeitsthemen im Bereich der Technologieentwicklung und drei der oben genannten Anwendungen dargestellt.

♦ **Technologie der gestapelten dielektrischen Elastomeraktoren**

Bearbeiter: Marc Matysek, Peter Lotz, Klaus Flittner

Vorrangiges Ziel der Technologienentwicklung ist die Herabsetzung der notwendigen Ansteuerspannungen. Der nächstliegende Weg hierzu ist die Herabsetzung der dielektrischen Schichtdicke. Durch den Aufbau einer eigens entwickelten Schleudereinheit können mit Drehzahlen von bis zu 14.000 U/min homogene Schichten mit weniger als 5 μm Dicke reproduzierbar hergestellt werden.

Damit die mechanische Auslenkung nicht aufgrund der passiven, bisher relativ dicken Elektrodenmaterialien verringert wird, wird aktuell nach alternativen Elektrodenmaterialien gesucht. Traditionelles Elektrodenmaterial der dielektrischen Elastomeraktoren ist Graphit, das sich durch sehr gute Dehnbarkeit auszeichnet. Der Fokus liegt nun auf metallischen Schichten, Pulvern und Kohlenstoff-Nanoröhrchen. Für die Nutzung der oben beschriebenen dünnen dielektrischen Schichten sind Elektrodenstärken deutlich kleiner als 1 μm notwendig.

Ein zweiter Weg, die Leistungsfähigkeit der dielektrischen Elastomeraktoren zu steigern, liegt in der Möglichkeit, aus dem silikonbasierten Dielektrikum mit nanoskalierten anorganischen Pulvern ein Komposit herzustellen und dadurch die Permittivität zu erhöhen. Hierzu haben vielversprechende Laborversuche stattgefunden, die ab Ende 2008 in Zusammenarbeit mit Materialwissenschaftlichen Institutionen weiter bearbeitet werden.

◆ Darstellung taktiler Informationen

Bearbeiter: Marc Matysek

Bearbeitungszeitraum: 1.12.2003 – 30.06.2009

Als taktile Wahrnehmung wird der Teil der menschlichen (haptischen) Wahrnehmung bezeichnet, der das ertasten von Oberflächen ermöglicht. Mittels dieser Oberflächensensibilität (Exterozeption – Sinneszellen in der Haut) können Auslenkungen der Haut, Drücke, Scherungen und Vibrationen, aber auch Temperaturen erfasst werden.

Anwendungsfelder für frei konfigurierbare taktile Displays sind z.B. die Erweiterung der Blindenschriftsymbole auf große Anzeigefelder zur Darstellung von Grafiken wie Stadtplänen. Auch für Anwendungen in Virtual-Reality- und Telemanipulationssystemen bietet die Rückmeldung von Kontaktkräften und Oberflächenstrukturen eine intuitivere Steuerung durch den Nutzer. Gerade in mobilen Systemen, die den Informationsumfang nur durch die Verwendung von Menüstrukturen überschaubar halten können, bietet die Integration einer „taktilen“ Rückmeldung eine deutliche Steigerung in der Benutzerfreundlichkeit.

Die Anforderungen an ein taktils Display richten sich entsprechend nach dem menschlichen Tastsinn. Für die Zweipunktschwelle, also den gerade noch wahrnehmbaren Abstand zweier benachbarter Hautdeformationsstellen, ergeben sich abhängig von der Region auf der Hand Werte von 1-3 mm. Die für das Projekt gewählten Abmessungen (Abb. 4.13a) orientieren sich zusätzlich an der Blindenschrift. Die Integration der Elastomeraktoren in ein solches Anzeigesystem zeigt Abb. 4.13b. Dabei kann eine Aktormatrix verbaut werden, die alle acht Aktoren enthält. Bei Ansteuerung mit einer elektrischen Spannung deformiert sich der Aktor und der vorher ertastbare Pin wird in das Gehäuse eingezogen. Abb. 4.13c zeigt einen aufgebauten Prototyp, der ein 8-Punkt-Braillezeichen darstellen kann.

Das gezeigte Braillezeichen ist ein erster Demonstrator, um die Möglichkeiten der Technologie der dielektrischen Elastomeraktoren erfahrbar zu machen.

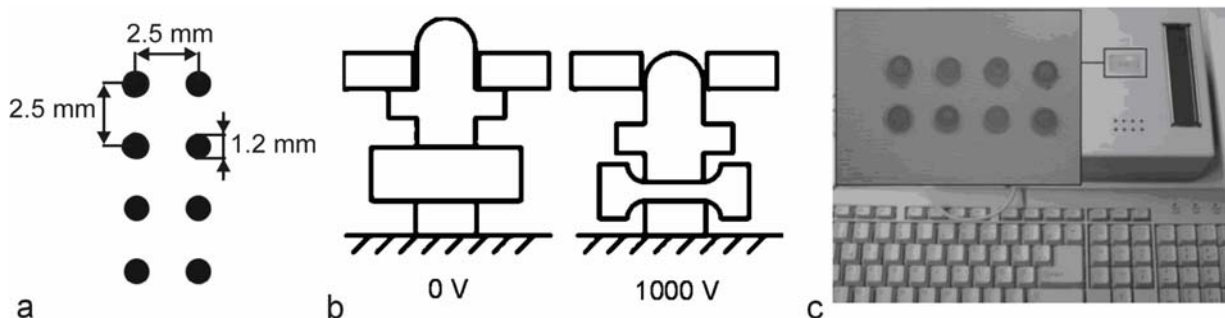


Abb. 4.13: 8-Punkt-Braillezeichen; a) Dimensionierung der Aktoren, b) schematischer Aufbau, c) aufgebauter Prototyp mit Ansteuerung

Die Erweiterung dieses "diskreten" Displays zu einem universellen taktilen Display kann mit dielektrischen Elastomeraktoren leicht erfolgen: bei freier Gestaltung der Aktorumrisse und einer hohen Aktordichte von bis zu 25 unabhängigen Aktoren pro cm^2 können frei definierbare Anzeigefelder mit steuerbarem Oberflächeneindruck realisiert werden. Abb. 4.14 zeigt ein solches taktilen Display. Durch die technologischen Verbesserungen können diese Anzeigefelder bereits bei elektrischen Spannungen von etwa 300V betrieben werden.

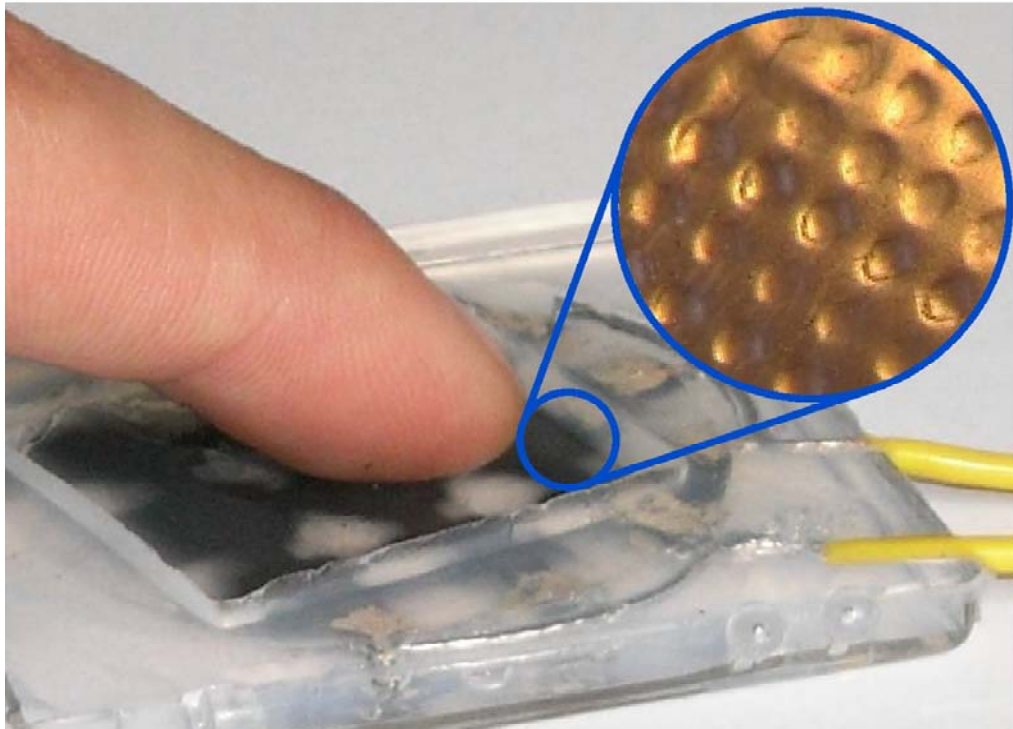


Abb. 4.14: Tastender Finger auf einem von DEA angetriebenem taktilen Display

Neben dem Einsatz als Aktoren können DEA auch als Sensoren verwendet werden, indem ihre Kapazität ausgewertet wird. So kann zum einen der Zustand eines aktiven Displays überwacht werden, zum anderen aber auch eine Interaktion in Form eines drückenden Fingers von einem Nutzer erkannt werden. Der Aufbau einer kompletten Mensch-Maschine-Schnittstelle als integrierte Ein- und Ausgabeeinheit ist damit möglich.

◆ Miniaturisierte peristaltische Fluidförderung

Bearbeiter: Peter Lotz

Bearbeitungszeitraum: 1.4.2005 – 31.03.2009

Ziel dieses Projektes ist der Aufbau einer peristaltischen Pumpe mit einem sich kontinuierlich verformenden Strömungskanal. Diese Art der Pumpengestaltung vermeidet bewusst Unstetigkeiten im Verlauf der Oberfläche und fördert damit die Ausbildung einer laminaren Strömung. Im Fluid vorhandene Partikel, wie z. B. lebende Zellen (Hefezellen, Erythrozyten), werden in einer laminaren Strömung nur geringen Scherkräften ausgesetzt und können sehr schonend transportiert werden.

Die Möglichkeit der hochauflösten Elektrodenstrukturierung erlaubt es, die peristaltische Wandbewegung durch bis zu acht Aktorelemente innerhalb einer Länge von 32 mm darzustellen.

Ein Querschnitt durch diese Pumpe ist in Abb. 4.15 dargestellt. Die kreisrunde Form des Pumpenkörpers ergibt sich durch die Herstellung im Schleuderverfahren. Entlang des Durchmessers sind acht Aktorelemente angeordnet, die unabhängig voneinander angesteuert werden. Die Abbildung zeigt den Querschnitt zu vier verschiedenen Zeitpunkten. Es ist zu erkennen, wie die Position der Hohlräume im Innern der Pumpe seitlich wandert.

In Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Fluidsystemtechnik wurde die zu erwartende fluiddynamische Leistungsfähigkeit mit Hilfe numerischer Simulationen berechnet. Abb. 4.16 zeigt die Ergebnisse dieser Simulation: Es ist eine maximale Druckerhöhung von ca.

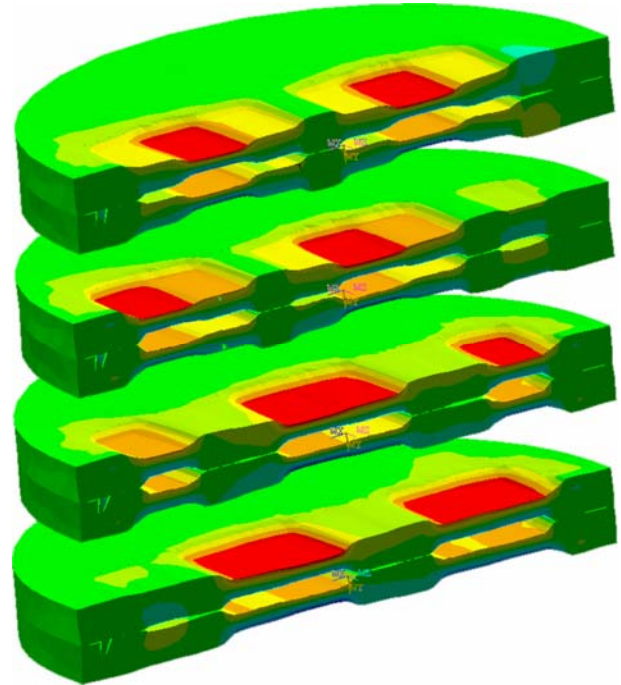


Abb. 4.15: Querschnitt einer peristaltischen Pumpe zu vier verschiedenen Zeitpunkten.

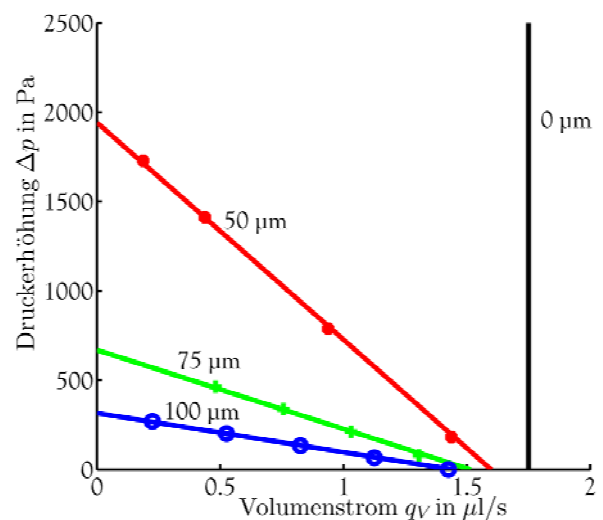


Abb. 4.16: In Simulationen berechnete Kennlinien für Leckagespalte von 0–100 μm . Für die Kammerpumpe nach Abb. 4.15 müssen die Werte der Druckerhöhung verdoppelt werden.

4 kPa und eine maximale Förderrate von etwa 1,5 $\mu\text{l/s}$ zu erwarten.

Stand des Projektes

Nachdem die Herstellungstechnologie im erforderlichen Maß optimiert wurde, können nun die ersten Funktionsmuster gefertigt werden (siehe Abb. 4.17). Es erfolgt dann die messtechnische Charakterisierung der Muster, die im Rahmen eines Folgeprojektes zu einer Überarbeitung und Optimierung der Pumpengeometrie führen soll.



Abb. 4.17: Funktionsmuster der peristaltischen Pumpe (ohne elektrische Kontaktierung zur Ansteuerung der Aktorelemente)

♦ BMBF-Verbundprojekt: Integration neuartiger Funktions- und Konstruktionswerkstoffe (INFUNK)

Teilprojekt: Ventildfeldantriebe zur Gasflußsteuerung

Bearbeiter: Klaus Flittner

Bearbeitungszeitraum: 1.11.2008 – 30.4.2011

Das BMBF-Verbundprojekt „Integration neuartiger Funktions- und Konstruktionswerkstoffe und deren Anwendung in einem miniaturisierten Ventilsystem (INFUNK)“ wird im Schwerpunkt „Organische Funktionssysteme für die Mikrosysteme (polyMST)“ gefördert. Im Verbund sind die TU Darmstadt mit den Fachgebieten „Mikrotechnik und Elektromechanische Systeme“ (Prof. Schlaak) und „Disperse Feststoffe“ (Prof. Riedel) sowie das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (FhG-ISC) beteiligt.

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung und Optimierung von polymeren Funktionsmaterialien sowie die Entwicklung der notwendigen Technologien zur Strukturierung dieser Materialien und daraus folgend die Herstellung von miniaturisierten Bauelementen und Funktionsstrukturen sowie deren Integration in Mikrosystemen.

Bei den betrachteten Materialsystemen handelt es sich zum einen um weiche Polymere, die zur Herstellung der dielektrischen Elastomeraktoren (DEA) verwendet werden, und zum anderen um Siloxane bzw. Silazane, die nach einer dreidimensionalen Strukturierung durch einen Pyrolyseschritt in eine Keramik

umgewandelt werden. Die Entwicklung des letztgenannten Materialsystems wird am Fachgebiet für Disperse Feststoffe durchgeführt.

Für die Elastomeraktoren werden kommerziell erhältliche Silikone durch organische und anorganische Zusatzstoffe modifiziert (FhG-ISC) und der Einfluss auf die elektrischen und mechanischen Eigenschaften untersucht. Hierbei sind insbesondere das Elastizitätsmodul und die relative Permittivität des Materials von Interesse. Mit diesen Modifikationen soll eine erhöhte Aktorleistungsfähigkeit und eine Anpassung an die jeweilige Anwendung erreicht werden.

Als Demonstrator ist ein Ventil eines Mikrobrenners vorgesehen. Dabei übernimmt die Keramik die Funktion der Düse und des Temperaturschutzes. Das eigentliche Ventilelement wird durch einen DEA realisiert, der über eine Metallstruktur fixiert wird (Abb. 4.18).

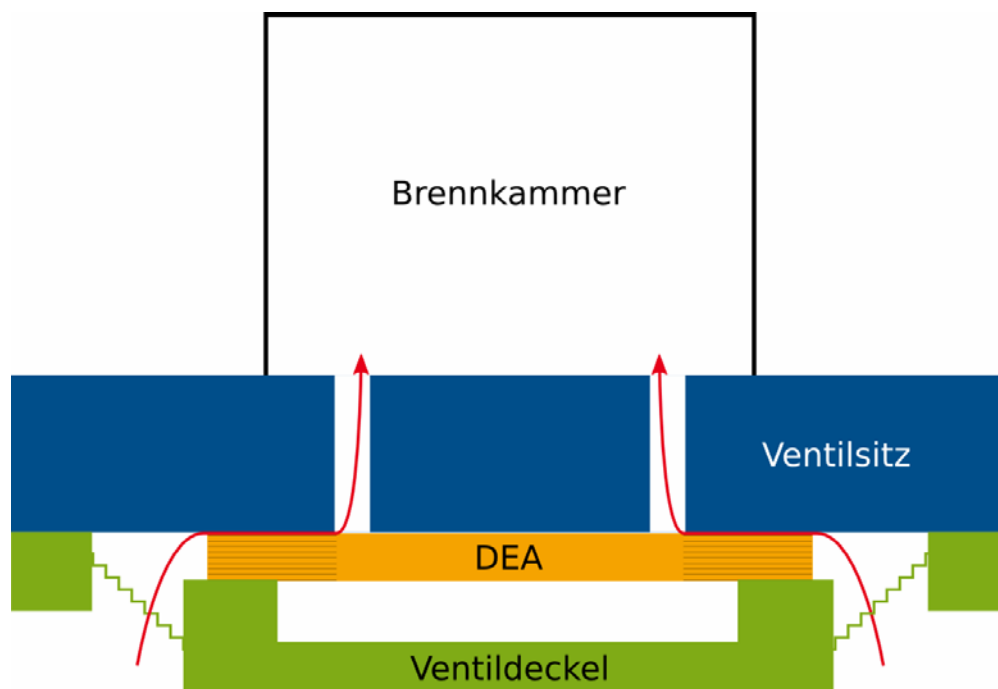


Abb. 4.18: Querschnitt durch den Aufbau des Ventils

4.1.4 Mikrorobotik

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Großprojektes FUSION zur schonenden Leberchirurgie wird vom Institut EMK das Projekt Intrakorporaler Manipulator (INKOMAN) bearbeitet. Dieses Projekt (siehe *Abschnitt 4.3*) besteht aus vier Teilprojekten, von denen die folgenden zwei Themen im Fachgebiet Mikrotechnik durchgeführt werden.

♦ **Miniaturisierte intrakorporale kinematische Strukturen für die minimalinvasive Chirurgie**

Bearbeiter: Andreas Röse

Bearbeitungszeitraum: 01.07.2005 – 30.06.2010

Siehe Abschnitt 4.3: Projekt INKOMAN

♦ **Intrakorporale Aktorik
Piezoelektrische Antriebe für die minimalinvasive Chirurgie**

Bearbeiter: Cedric Wohlleber

Bearbeitungszeitraum: 01.07.2007 – 31.12.2010

Siehe Abschnitt 4.3: Projekt INKOMAN

♦ **Dynamisches Weißlicht-Interferometer für den Nano- und Mikrobereich -
BMBF-Förderprojekt: "DyNaMo"**

Bearbeiter: Mark Kohlstedt

Bearbeitungszeitraum: 01.11.2006 – 30.04.2010

An diesem BMBF-Verbundprojekt im Förderschwerpunkt „Nano Chance“ sind das Institut EMK und die Firma Precitec Optronik (Rodgau) als Partner beteiligt.

Motivation

Zur Vermessung kleinster beweglicher Strukturen werden optische Messverfahren bevorzugt, da sie eine berührungslose und damit weitestgehend rückwirkungsfreie Charakterisierung ermöglichen. Mit Hilfe der Weißlichtinterferometrie ist es möglich sprungartige Höhenunterschiede zuverlässig zu charakterisieren, sowie großflächige Messobjekte schnell und präzise zu analysieren.

Ziel des Vorhabens

In diesem Projekt soll ein monolithischer Aufbau eines Interferometers erarbeitet werden. Innerhalb eines Messvorgangs soll ein Volumen von $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$, bei einer Auflösung von ca. 50 nm charakterisiert werden.

Des Weiteren sollen Masse und Volumen bisheriger Geräte unterschritten werden. Dies funktioniert jedoch nur mit Hilfe einer aktiven Schwingungsdämpfung. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Erhöhung der Messgeschwindigkeit. Außerdem soll eine Vermessung von dynamischen Messobjekten ermöglicht werden.

Stand der Arbeiten

Bisher wurden die unterschiedlichen Interferometertypen (wie Fabry-Pérot, Mach-Zender, Twyman-Green, Mireau u.ä.) verglichen und bewertet. Anschließend wurde ein Interferometer nach Michelson aufgebaut (Abb. 4.19), die Anordnung der Spiegel wurde schwingungsoptimiert.

Einige Interferogramme wurden bereits mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera erstellt, welche die nötige Geschwindigkeit für die einzelnen Aufnahmen sichert. Des Weiteren wurden unterschiedliche Lichtquellen bezüglich ihrer Kohärenzlänge und Wärmestrahlung evaluiert. Hierbei haben sich LED durch ihre relativ kurze Kohärenzlänge von 3-30 μm und ihre geringe Wärmeentwicklung in Leuchtrichtung durchgesetzt. Jedoch ist die Photonenausbeute bei Halbleiterlichtquellen sehr gering.

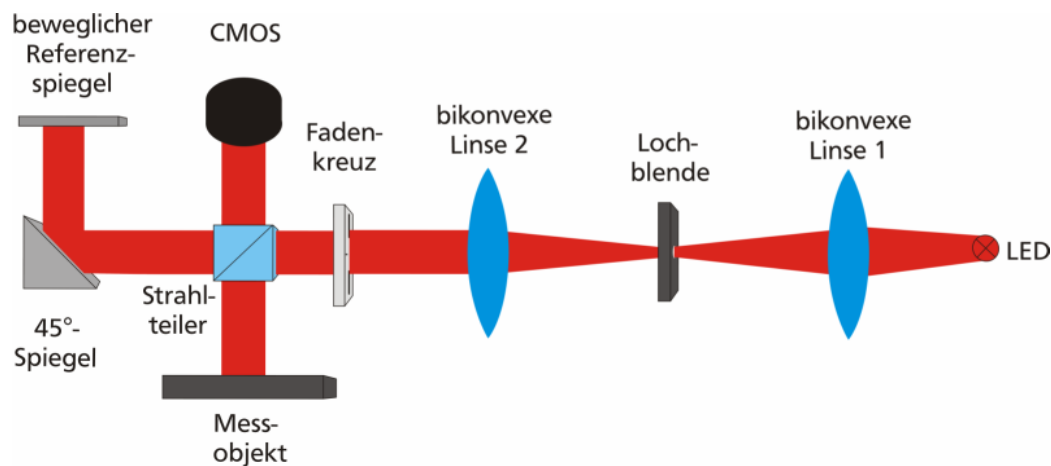


Abb. 4.19: Schwingungsoptimierter Aufbau eines Interferometers nach Michelson, wobei Referenzspiegel, Kamera und Messobjekt in einer Ebene angeordnet sind.

Dementsprechend wurden einige Optiksimulationen (Zemax) von der Firma Precitec Optronik durchgeführt, um eine Verwendung der notwendigen Hochgeschwindigkeitskamera zu garantieren. Ein entsprechender Strahlengang wird diesbezüglich gerade am Interferometer getestet (Abb. 4.20).

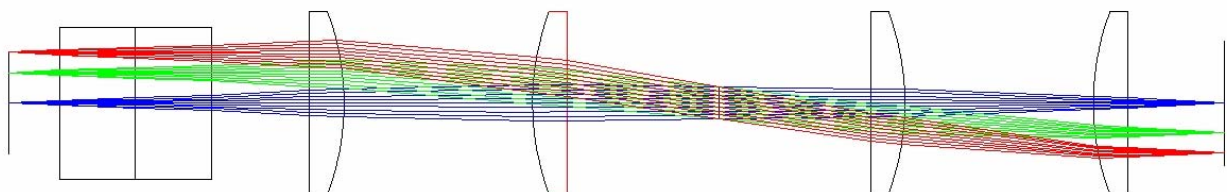


Abb. 4.20: Zemax-Simulation des möglichen Detektionsstrahlengangs

Eine weitere Möglichkeit, eine höhere Lichtleistung der LED zu erzielen, ist diese im Pulsbetrieb zu verwenden und dementsprechend einen höheren Strom zu verwenden. Diese Tests werden bis Ende des Jahres abgeschlossen sein.

Für die aktive Schwingungsdämpfung ist ein Sensor erforderlich der eine ähnliche Auflösung gewährleistet wie das eigentliche Interferometer, um auftretende Schwingungen bis 100 Hz bei einer Auflösung von 50 nm zu registrieren. Ein überlagertes Fabry-Pérot-Interferometer, welches diese Auflösung ermöglichen kann, wird gerade evaluiert.

♦ **Intelligente adaptive Ultraschallaktuatorik**
LOEWE Forschungszentrum Adaptronik (AdRIA)

Bearbeiter: NN

Bearbeitungszeitraum: 01.10.2008 – 30.06.2010

Ziel dieses Teilvorhabens innerhalb des Technologiebereichs „Aktoren und Sensoren“ ist es, intelligente resonante piezoelektrische Antriebe zu entwickeln, die auf die veränderten Resonanzbedingungen reagieren. Hierzu ist es notwendig die veränderten Bedingungen durch Sensoren zu detektieren und mittels einer adaptiven Regelung auf die veränderten Parameter zu reagieren.

Dieses Ziel untergliedert sich in:

- Entwicklung reibschlüssiger resonanter piezoelektrischer Antriebe, die sich selbstständig an Verschleiß und an wechselnde Lasten anpassen.
- Antrieb und gleichzeitige Detektion von Verschleiß und Lastbedingungen durch den intrinsischen sensorischen Effekt mittels piezoelektrischer Materialien
- Modellierung der Aktoren und Entwurf einer adaptiven, lernenden Regelung, die die veränderten Bedingungen abbildet.
- Verbesserung des Reibschlusses für den Antrieb zur Erhöhung der übertragbaren Kräfte

Durch die hohe Resonanzfrequenz im Ultraschallbereich arbeiten diese Antriebe praktisch lautlos.

4.2 Fachgebiet Prozessmess- und Sensortechnik (Prof. Werthschützky)

4.2.1 Überblick der Forschungsschwerpunkte

Eine Hauptanwendung elektromechanischer Systeme sind Sensoren zur Messung mechanischer Größen, wie Kraft, Drehmoment, Druck, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Weg und Durchfluss. Die reproduzierbare Erfassung dieser Messgrößen ist Voraussetzung für die Analyse, Steuerung und Regelung von industriellen Prozessen sowie Prozessen in der Fertigung, im Fahrzeug, in der Medizin und auch im Haushalt. Hierzu ist der Einsatz von Einzelsensoren oder von Sensorsystemen erforderlich. Außerdem vollzieht sich durch die Anwendung weiterentwickelter Mikrotechnologien zunehmend der Übergang vom Einzelsensor bzw. Sensorsystem zu direkt gekoppelten Sensor-Aktor-Systemen mit integrierter Informationsverarbeitung.

Die Forschung im Fachgebiet „Mess- und Sensortechnik“ umfasst die in der Abb. 4.21 angegebenen Themenfelder.

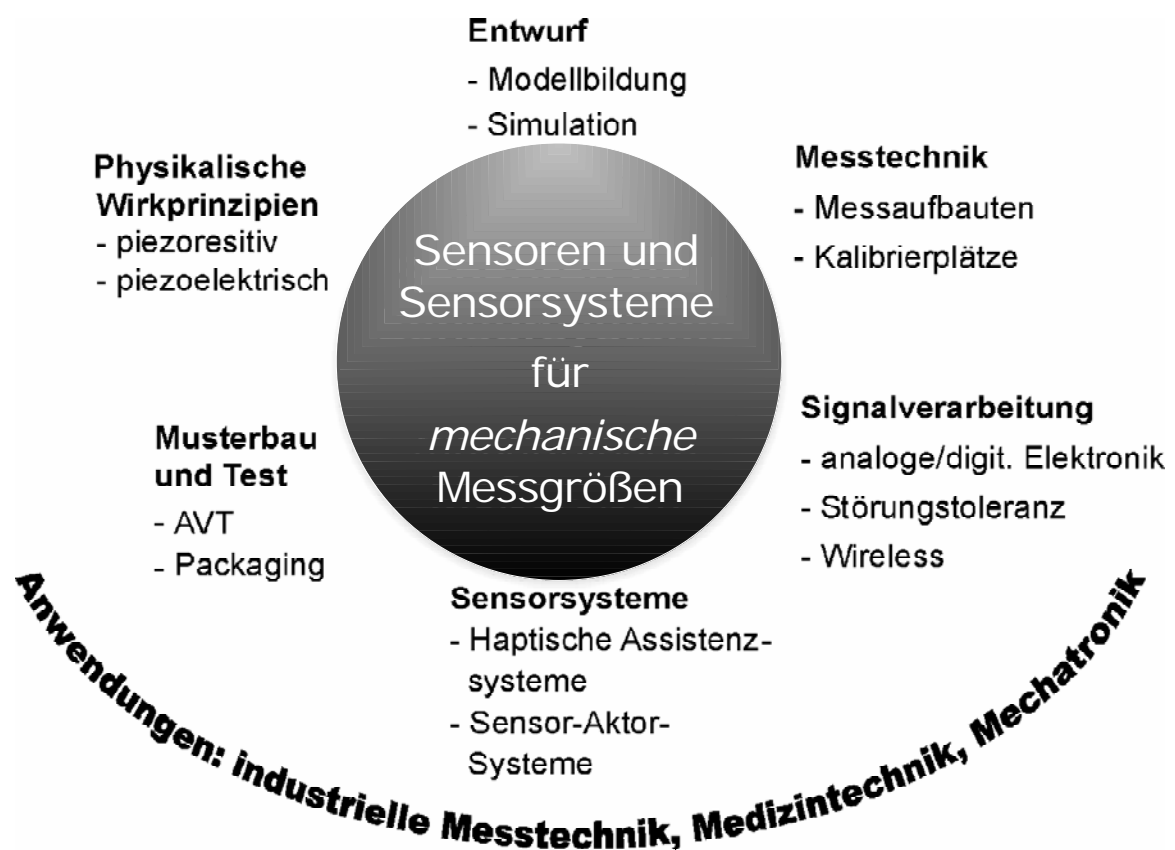


Abb. 4.21: Themenfelder der Forschung im Fachgebiet Mess- und Sensortechnik

Die Fortschritte der Mikro- und Feinwerktechnik und der integrierten Signalverarbeitung in Richtung mikroelektromechanischer Systeme (MEMS) werden in der Mess- und Sensortechnik vor allem durch folgende Entwicklungstrends gekennzeichnet:

- Vervollkommnung bekannter und Einführung neuartiger Messprinzipien für langzeitstabile MEMS-Sensoren.
- Übergang von Einzelsensoren zu miniaturisierten Sensorsystemen für mehrere gleichartige oder unterschiedliche Messgrößen.
- Sicherung einer umwelt- und medienrobusten Gehäusung der MEMS-Sensoren bei gleichzeitig vernachlässigbarer Rückwirkung auf die Messgröße und das Messelement.
- Integration einer zunehmend anspruchsvolleren Signalverarbeitung durch rauscharme Analogelektronik und Mikrocontroller direkt in die Sensoren (Smart Sensor). Übernahme von zusätzlichen Funktionen, wie Regelungs- und Steuerungsaufgaben, Korrektur von systematischen und die Reduzierung von zufälligen Messfehlern.
- Erhöhung der Sensorverlässlichkeit durch Erkennen von Störungen und deren Ursachen auf Basis integrierter Algorithmen zur Sensorselbstüberwachung und Auslösung von Maßnahmen zur Sensorrekonfiguration, z.B. durch redundante Sensoren oder analytische Modellansätze.
- Übergang zu direkt gekoppelten Sensor-Aktor-Systemen, z.B. zur Gestaltung von haptischen Mensch-Maschine-Schnittstellen oder medizinischen Assistenzsystemen.
- Drahtlose Energie- und Signalübertragung für Sensoren und Sensorsysteme einschließlich autarker Energieversorgung.

Ausgehend von diesen grundsätzlichen Entwicklungstrends sind die aktuellen Forschungsthemen des Fachgebiets auf die noch breitere Anwendung des piezoresistiven Effekts in Silizium-Miniatursensoren zur Erfassung mechanischer Größen, den Prototypenbau und Test neuartiger elektromechanischer Sensoren und Sensorsysteme, die Gestaltung haptischer Assistenzsysteme in der Medizintechnik als direkt gekoppelte Sensor-Aktor-Systeme und die erweiterte Sensorsignalverarbeitung in Richtung Selbstüberwachung und Rekonfiguration ausgerichtet. Diese Forschungsschwerpunkte wurden im Berichtszeitraum in drei Forschungskomplexen bearbeitet

- **MEMS-Sensorik:**
 - Miniaturkraftsensor für Katheterisierungen in der Kardiologie - DFG-Projekt "HapCath" - (T. Meiß)
 - Haptische Kraftsensoren mit piezoresistiven Silizium-Dehnungsmessstreifen – BMBF-Projekt „INKOMAN“ (J. Rausch)

- Überlastfester miniaturisierter Silizium-Höchstdrucksensor – Industrieforschung (P. Heinickel)
- Überlastfester Silizium-Differenzdrucksensor – Industrieforschung (T. Kober)
- Umweltrobuste, medienresistente Miniaturdrucksensoren mit stabilitätsoptimierten Silizium-Messelement – Industrieforschung "Match-Druck" (S. Sindlinger; C. Wohlgemuth)
- **Haptik:**
 - Entwurf und Gestaltung eines haptischen Assistenzsystems für Katheterisierungen - DFG-Projekt „HapCath“ - (T. Kern; S. Sindlinger; T. Meiß)
 - Entwurf und Gestaltung eines haptischen Assistenzsystems für Geräte der minimalinvasiven Chirurgie – BMBF-Projekt „INKOMAN“ (S. Kassner, J. Rausch)
 - Entwurfsmethodik für haptische Schnittstellen – DFG-Postdoc-Finanzierung (T. Kern)
 - Messtechnische Analyse der haptischen Wahrnehmung – DFG-Projekt (C. Hatzfeld)
- **Sensorsysteme und Sensor-Signalverarbeitung:**
 - Medizinisches Sensorarray zur Zungendruckmessung bei Kindern - DFG-Projekt „Zungendrucksensorysystem“ - (I. Stöhr)
 - Integriertes Sensorsystem für Kreislumpen - DFG-Projekt „Sensorsystem“ - (R. Werner)
 - Sensor-Aktor-System zur berührungslosen Augeninnendruckmessung – Industrieforschung (T. Weber)
 - Sensorsignalverarbeitung bei der Erfassung von Hirnpotentialen – EU-Projekt „EUPRIM“ (L. Rafflenbeul)
 - Selbstüberwachung von Sensoren am Beispiel druckbasierter Durchflussmessverfahren – DFG-Projekt „Störungstoleranz“ (S. Funke)

Diese im Berichtszeitraum bearbeiteten Forschungsthemen sind vor allem anwendungsorientiert ausgerichtet. Dagegen sind die Themen zur Analyse der haptischen Wahrnehmung und zum Entwurf haptischer Mensch-Maschine-Schnittstellen stärker grundlagenorientiert.

Als technologische Basis für die Herstellung der Prototypen stehen am Institut die feinwerktechnische Werkstatt, das mechanische Mikrobearbeitungslabor und das neue Mikrotechnik-Labor zur Verfügung. Darüber hinaus werden bewährte als auch neu geschaffene Kooperationsbeziehungen zu kompetenten industriellen und institutionellen Partnern genutzt.

Zur Finanzierung der grundlagen- und anwendungsorientierten Forschungsarbeiten dienen vorzugsweise Drittmittel der DFG, des BMBF und der Industrie.

In den folgenden Abschnitten werden die Zielstellungen, die Lösungsansätze und die Ergebnisse der im Berichtszeitraum bearbeiteten Forschungsthemen zusammenfassend vorgestellt.

4.2.2 MEMS- Sensorik

◆ Subminiatur-Kraftsensor und Signalverarbeitung

Bearbeiter: Thorsten Meiß

Bearbeitungszeitraum: 01.09.2004 - 31.08.2010

Aufgabenstellung

Im Rahmen des Projektes „HapCath“- haptischer Katheter - werden Kräfte, die bei Katheterisierungen von Herzkranzgefäßen an der Spitze von Kathetern und deren Führungsdrähten auftreten, gemessen und dem Arzt verstärkt haptisch dargestellt. Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung geeigneter Mikro-Kraftsensoren und deren Integration in die Führungsdrahtspitze, deren Durchmesser lediglich 0,36 mm beträgt.

In der ersten Arbeitsphase wurden Anforderungen für neuartige Kraftmesselemente abgeleitet und zwei unterschiedliche Silizium-Kraftsensoren in Silizium-Volumen-Mikromechanik mit piezoresistivem Wirkprinzip gefertigt. Das Messelement mit asymmetrischem Grundkörper nach Abb. 4.22 a) wird durch anisotropes Nassätzen strukturiert. Die mechanische Struktur des zweiten Kraftmesselements wird mittels eines Trockenätzprozesses gefertigt. Beide Elemente weisen sich durch einen hohen Miniaturisierungsgrad (Abmessungen 200-200-640 μm^3), sehr geringe Kosten in der

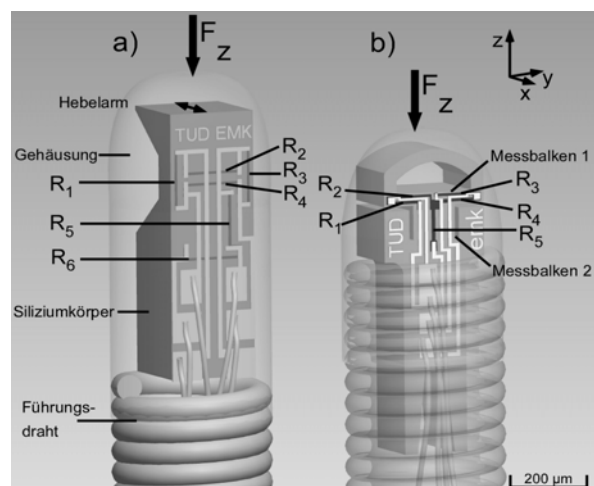


Abb. 4.22: CAD-Modelle von Führungsdrahtspitzen mit piezoresistiven Kraftsensoren, a) Typ 1 und b) Typ 2

Serienfertigung, große Übertragungsfaktoren, hohe Linearität und hohe mechanische Grenzfrequenzen im Megahertz-Bereich aus. Beide Messelement-Typen sind zur Messung eines Kraftvektors bestimmt.

Bearbeitungsstand

Die erste Musterfertigung des Kraftmesselementes mit asymmetrischem Grundkörper (Typ1) wurde in Kooperation mit dem CiS in Erfurt realisiert. Besondere Herausforderungen stellte die Kontaktierung der Bondflächen mit Abmessungen von $40\text{-}50\text{ }\mu\text{m}^2$ dar. Dies wurde gelöst durch Verwendung spezieller Wedge-Wedge-Bondspitzen und Golddraht mit $18\text{ }\mu\text{m}$ Durchmesser. Zur Integration in den Führungsdraht ist eine industriell anwendbare Kontaktierung mit sechs isolierten elektrischen Leitern mit einer Länge von 180 cm bei Durchmessern um $20\text{ }\mu\text{m}$ notwendig. Ein neu entwickeltes Verfahren hierfür befindet sich derzeit in der Patentanmeldungsphase. Zur intrakorporalen Anwendung bei Herzkatheterisierungen ist weiterhin ein biokompatibles Packaging der Messelemente notwendig, das soll durch einen Verguss mittels Elastomer erfolgen. Hierzu sind die gegensätzlichen Forderungen nach weichem Verguss, um das Messelementverhalten nicht zu beeinträchtigen sowie die Forderung nach hoher Abreißfestigkeit und einer sicheren Funktion in den Herzkranzgefäßen, zu vereinen.

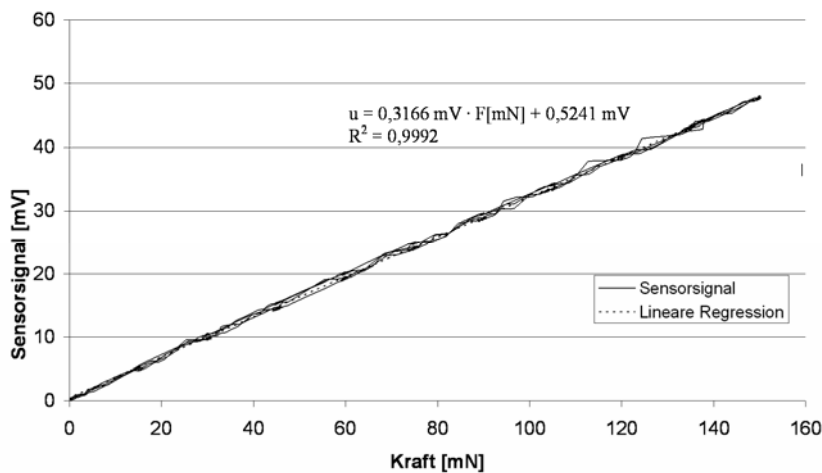


Abb. 4.23: Sensorkennlinie eines gehäusten Messelementes Typ 1 mit Gehäusungswerkstoff mit Härtegrad Shore A 70.

Detaillierte Messergebnisse wurden veröffentlicht (siehe Kapitel 8, [20/2008], [23/2008]) und zeigen die gute Sensorcharakteristik bezüglich großem Übertragungsfaktor, sowie geringem Linearitäts- und Hysteresefehler auch für Messelemente mit festem Packaging von einer Härte von Shore A 70 (Abb. 4.23, Tabelle 4.3).

Ausblick

Derzeitig befinden sich überarbeitet Messelemententwürfe in der Fertigung beim CiS in Erfurt. Hier fließen direkt die Erfahrungen zur Integrierbarkeit des Messelementes a) sowie die Erfahrungen aus der eigenen Fertigung des Messelementes b) mit ein. Ziele sind vor allem ein Design für eine vereinfachte Kontaktierung und verbesserte

Integrierbarkeit des Messelementes im Hinblick auf industrielle Fertigung. Weitere derzeitige Schritte sind die Integration des Messelementes und der elektrischen Signalübertragung in enger Kooperation mit einem Führungsdraht-Hersteller.

Weitere Arbeiten umfassen die Kalibrierung des 3D-Kraftvektors im eigenen Kraftprüfstand sowie der Abschluss der *HapCath*-Signalverarbeitung mit spezieller Sensorelektronik.

Das Projekt wurde bis August 2007 durch die DFG gefördert. Ein Fortsetzungsantrag zum Abschluss der Arbeiten im Frühjahr 2010 wurde bei der DFG eingereicht.

Tabelle 4.3: Ergebnisse für das Messelement mit asymmetrischem Grundkörper

Kenngröße	Nennkraft	Maximalkraft	Kraftauflösung	$F_{\text{Linearität}}$	$F_{\text{Hysteresis}}$	Dynamik
Wert	300 mN	< 2500mN	< 0,5 mN	< 1 %	< 1 %	Statisch bis $9 \cdot 10^6$ Hz

♦ Miniaturisierter Mehrkomponentenkraftsensor für die minimalinvasive Chirurgie

Bearbeiter: Jacqueline Rausch

Bearbeitungszeitraum: 01.04.2006 - 31.03.2009

Siehe Abschnitt 4.3: BMBF-Förderprojekt: Intrakorporaler Manipulator - INKOMAN

♦ Überlastfester piezoresistiver Hochdruck-Sensor

Bearbeiter: Patrick Heinickel

Bearbeitungszeitraum: 01.11.2007 - 31.10.2010

Aufgabenstellung

Auf dem Markt verfügbare Hochdrucksensoren sind derzeit meist aus einem Metallverformungskörper aufgebaut. Dieser ist mit Dehnungsmesselementen in Dünnschicht-, Dickfilm- bzw. Halbleiterausführung bestückt. Das Know-How dieser Sensoren steckt vor allem im aufwendig zu fertigenden Metallverformungskörper. Das Prinzip ermöglicht das Messen von Drücken bis 1.500 MPa. Die Nachteile sind hohe Kosten und der vergleichsweise geringe Überlastschutz von maximal 120% des Nenndrucks, da die Gefahr der plastischen Verformung besteht.

Piezoresistive Silizium-Messelemente finden als Primärsensoren für Relativ- und Absolutdruckbereiche von 10 kPa bis 100 MPa industrielle Anwendung in KfZ- und Konsumgütern. Sie vereinen eine Reihe von Vorteilen, wie niedrige Fertigungskosten, miniaturisierte Abmessungen, hohen Grundwiderstand und hohen Übertragungsfaktor. Dabei bieten Sensoren nach dem piezoresistiven Prinzip die Möglichkeit zusätzliche Funktionen, wie die Primärelektronik, auf dem Silizium-Chip zu integrieren. In der Druckplatte des Silizium-Chips treten bei Druckbelastung mechanische Spannungen auf. Übertreffen diese auftretenden Zugspannungen die Bruchspannung von Silizium, so führt dies zum Bersten der Silizium-Druckplatte. Der maximale Nenndruck von piezoresistiven Silizium-Drucksensoren ist bei einem Überlastfaktor von zwei auf ca. 100 MPa beschränkt.

Um die Vorteile des piezoresistiven Silizium-Drucksensors auch im Hochdruckbereich nutzen zu können, besteht das Ziel des Forschungsvorhabens in der Entwicklung eines kostengünstigen überlastfesten piezoresistiven Hochdruck-Sensors inklusive Packaging für Nenndruckbereiche von 50 MPa bis 500 MPa.

Bearbeitungsstand

Beim neuartigen Silizium-Hochdruck-Messelement, dem Verbundelement, wird auf eine Druckplatte verzichtet. Ein Vollkörper-Silizium-Messelement mit integrierten piezoresistiven Widerständen wird anodisch auf einen im Vergleich zu Silizium weichen Substratwerkstoff gebondet. Das neuartige Verspannungsprinzip bildet die Funktionsgrundlage dieser Konstruktionsvariante. Die unterschiedlichen elastischen Koeffizienten von Silizium und Substratmaterial führen in der Verbindungsschicht zu belastungsabhängigen mechanischen Differenzspannungen, die sich durch das Verbundelement ausbreiten. Bei hydrostatischer Druckbelastung stellt sich eine Überlagerung von Kompression und schalenförmiger Verwölbung, infolge der stärkeren Stauchung des weichen Substratmaterials, ein. Durch die mechanische Fehlanpassung der Fügepartner ist das neuartige Prinzip der mechanischen Verspannung zur Messung von Hochdruck nutzbar. Gleichzeitig ergibt sich aufgrund der allseitigen Druckeinleitung eine hohe Überlastfestigkeit.

Analytische Beschreibungen, FEM-Simulationen und messtechnische Untersuchungen bilden die Optimierungsgrundlage für das neuartige Messelement (Abb. 4.24). Am Hochdruck-Messplatz des Instituts sind statische Messungen bis 500 MPa möglich. Bei einer Sensorspeisung mit einer stabilisierten Spannung von 5 V ergibt sich ein normierter Übertragungsfaktor von $B_0 \approx 25 \frac{\mu\text{V}}{\text{V} \cdot \text{MPa}}$. Erste Optimierungen des Messelementes im Rahmen der Diplomarbeit [DA 1644] hinsichtlich der geometrischen Abmessungen und Lage der resistiven Gebiete ergab eine Vergrößerung des Übertragungsfaktors um den Faktor 10. Dennoch ist die Empfindlichkeit immer noch

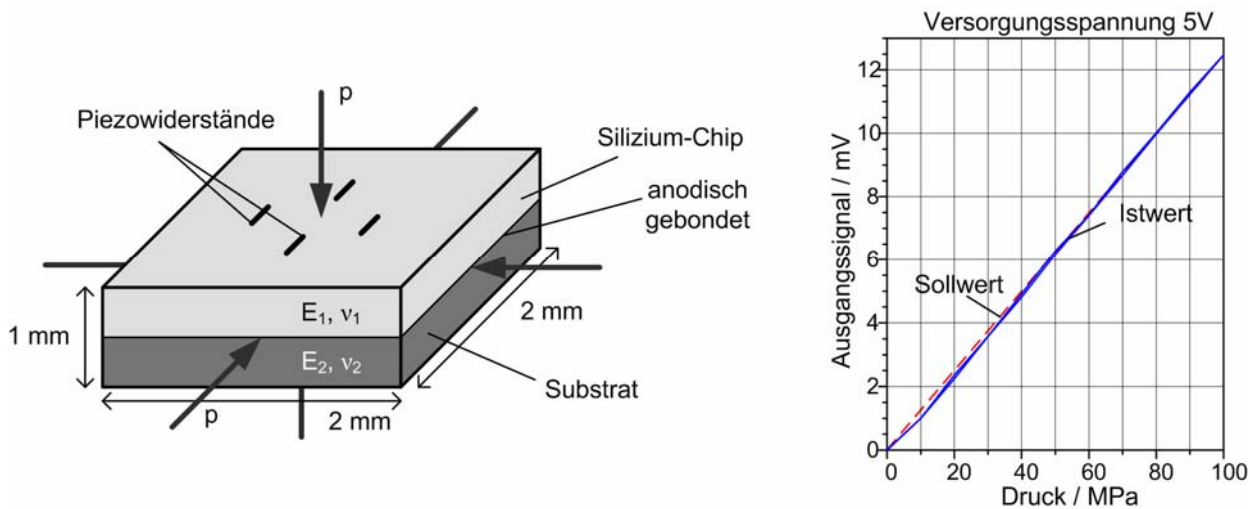


Abb. 4.24: Verbundelement als neuartiges Hochdruck-Messelement mit messtechnisch ermittelter Sensor-Kennlinie bis 100 MPa

um fast Faktor 10 niedriger im Vergleich zu Standard-Silizium-Drucksensoren. Daher ist weiterhin Optimierungspotential vorhanden.

Ausblick

Neben der Optimierung des Verbundelementes steht das Packaging und eine angepasste und optimierte Aufbau- und Verbindungstechnik im Fokus künftiger Forschungsarbeiten zur Entwicklung eines Silizium-Hochdruck-Sensors.

Für die Förderung des Forschungsvorhabens danken wir der Fa. EPCOS AG / Aktiv Sensor GmbH in Stahnsdorf bei Berlin.

◆ Überlastfester Silizium-Differenzdrucksensor für die Prozessmesstechnik

Bearbeiter: Timo Kober

Bearbeitungszeitraum: 15.11.2007-14.11.2010

Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten besteht in der Entwicklung eines neuartigen überlastfesten Silizium-Messelements zur Differenzdruckmessung. Der Stand der Technik bei Differenzdrucksensoren ist durch einen unteren Nennmessbereich von $p_N=10$ mbar bei einem statischen Druck von 160 bar und einer Messunsicherheit $\leq 2 \cdot 10^{-3}$ gekennzeichnet. Bei den derzeitigen Sensoren wird die geforderte Überlastfestigkeit durch einen zusätzlichen, feinwerktechnischen Mechanismus in einer massiven, ölgefüllten Messzelle erzielt. Dieser schützt das Messelement vor einseitiger Druckbelastung und dynamischen Überlastungen (Druckspitzen). Diese Zusatzeinrichtung bestimmt jedoch das derzeitige Füllvolumen und somit auch den dynamischen Frequenzgang des akustischen Netzwerks sowie das Temperaturverhalten (Einsatztemperaturbereich) der Messzelle (Abb. 4.25).

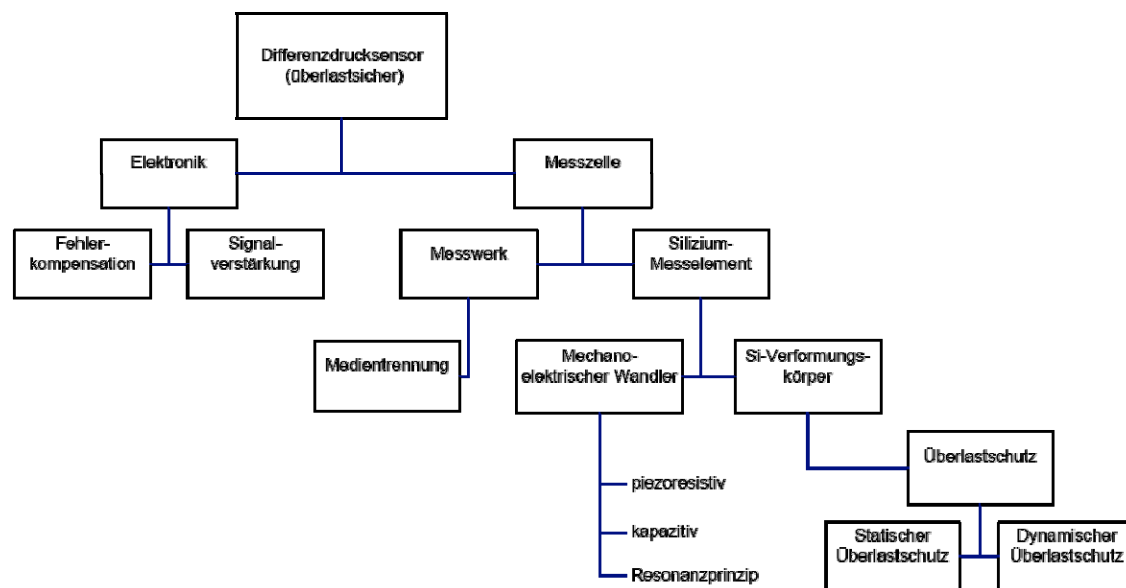


Abb. 4.25: Baugruppenstruktur eines Differenzdrucksensors bei integriertem Überlastschutz

Ein Auszug der Anforderungsliste des überlastfesten Differenzdrucksensors fasst die Rahmenbedingungen für die Neukonzeption zusammen:

- Verwendung eines Silizium-Messelements und dazu kompatiblen Messprinzipien
- Edelstahl-Trennmembranen zur Medientrennung
- Differenzdruckmessbereich $p=10$ mbar bei einer Messunsicherheit von $\leq 2 \cdot 10^{-3}$
- Überlastfestigkeit bis 160 bar
- Einsatztemperaturbereich von -55 °C bis $+100$ °C
- Obere Grenzfrequenz $10 \text{ Hz} \leq f_{\text{Max}} \leq 100 \text{ Hz}$

Nach dem Stand der Technik sind Mikro-Elektro-Mechanische-Systeme (MEMS) zur Differenzdruckmessung nicht vor einseitiger, statischer Überlastung bis 160 bar geschützt. Durch ein überlastfestes Silizium-Messelement sollen die Kosten, die durch das Einfügen des statischen- und dynamischen Überlastschutzes entstehen, drastisch reduziert werden. Gelingt es, den Schutz vor Überlastung in das Messelement selbst zu integrieren, können zusätzliche mechanische Baugruppen im Messwerk eingespart werden.

4.2.3 Haptik

4.2.3.1 Haptisches Assistenzsystem für Katheterisierungen

"HapCath" ist die Abkürzung für „Haptisches Katheter“. Dieses Forschungsprojekt wird seit September 2004 durch die Deutsche Forschungsgesellschaft DFG gefördert

und von zwei wissenschaftlichen Mitarbeitern am Institut für EMK bearbeitet. Das Assistenzsystem soll während einer Herzkatheterisierung eingesetzt werden. Dieser minimalinvasive Eingriff wird zur Behandlung von Stenosen der Herzkranzgefäße durchgeführt. Problematisch ist hierbei die Navigation zu der exakten Position, die derzeit nur optisch, d.h. durch Zugabe von Kontrastmittel mittels eines 2-dimensionalen Röntgenbildes möglich ist.

In Abb. 4.26 ist das Prinzip des „HapCath“-Projekts als neuartiges Assistenzsystem für Katheterisierungen dargestellt.

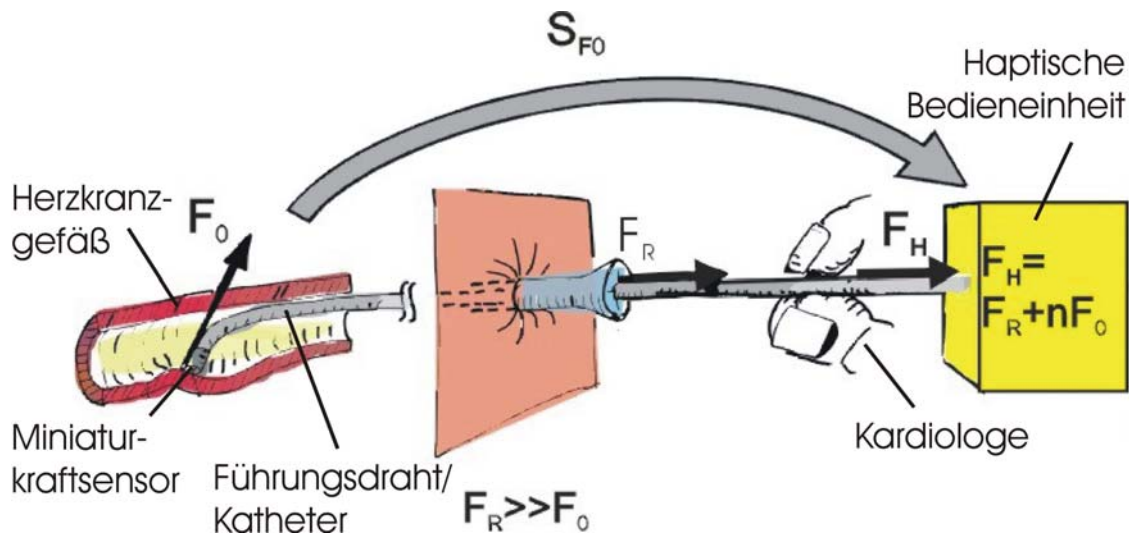


Abb. 4.26: Struktur des Assistenzsystems für Katheterisierungen mit aktiver haptischer Rückwirkung

Der Führungsdraht wird durch die Blutgefäße geschoben. An der Spitze des Drahtes ist ein miniaturisierter Kraftsensor integriert. Dieser misst die Kraft F_0 zwischen der Spitze des Drahtes und der Gefäßwand. Die Reibkraft F_R , die zwischen Gefäßwänden und Führungsdraht entsteht, überlagert sich der Kraft F_0 . Die Kraft an der Katheterspitze ist somit für den Kardiologen nicht spürbar. Die gemessene Kraft F_0 wird durch das Signal S_{F_0} nach außen geführt. Die haptische Bedieneinheit verstärkt das Signal und koppelt die Kraft F_H extrakorporal auf den Führungsdraht zurück.

Die haptische Rückwirkung ermöglicht dem Kardiologen eine einfachere und intuitive Navigation in den Herzkranzgefäßen, da er sich „wie mit einem Blindenstock“ durch die Adern tasten kann. Die Belastung für den Patienten durch Kontrastmittel und Röntgenstrahlung sowie die Behandlungszeiten können deutlich reduziert werden. Das „HapCath“ System untergliedert sich in zwei Teilprojekte: die Entwicklung des miniaturisierten Kraftsensors (Thorsten Meiss) und die Entwicklung der haptischen Bedieneinheit (Stephanie Sindlinger). Die Kurzberichte der Mitarbeiter schließen sich dieser Einführung an.

◆ Subminiatur-Kraftsensor und Signalverarbeitung

Bearbeiter: Thorsten Meiß

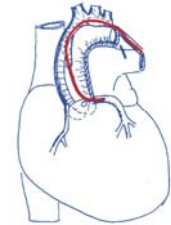
Bearbeitungszeitraum: 01.09.2004 - 31.08.2010

Siehe Abschnitt 4.2.2: MEMS- Sensorik

◆ Aktorik und Integration in den Behandlungsablauf

Bearbeiter Stephanie Sindlinger (geb. Klages)

Bearbeitungszeitraum: 15.10.2004 - 31.03.2009



Aufgabenstellung

Die an der Führungsdrahtspitze gemessenen Kräfte sollen über eine haptische Aktorik verstärkt auf den Draht gekoppelt werden. Die wichtigsten Anforderungen an die haptische Aktorik sind in der Tabelle 4.4 zusammengefasst:

Tabelle 4.4: Haptische Anforderungen an die Aktorik

max. Kraft	F_{\max}	200 mN
obere Grenzfrequenz	f_{grenz}	1000 Hz
max. Drehmoment	M_{\max}	100 mNm

Die zu entwickelnde Aktorik darf durch die während der Operation auftretenden Flüssigkeiten Blut und Kontrastmittel, die den Reibkoeffizienten der Oberfläche verändern, nicht beeinflusst werden.

Aktor zur Erzeugung der haptischen Kraftwirkung

In Abb. 4.27 ist der piezoelektrische Ultraschallaktor dargestellt, der zur Erzeugung der haptischen Kraftwirkung entwickelt wurde.

Der Aktor besteht aus einem piezoelektrischen Stapelaktor, der einen mechanischen Resonator in zwei seiner Eigenmoden gleichzeitig zum Schwingen anregt. Die Überlagerung der longitudinalen und der transversalen Moden ergibt an der Spitze eine

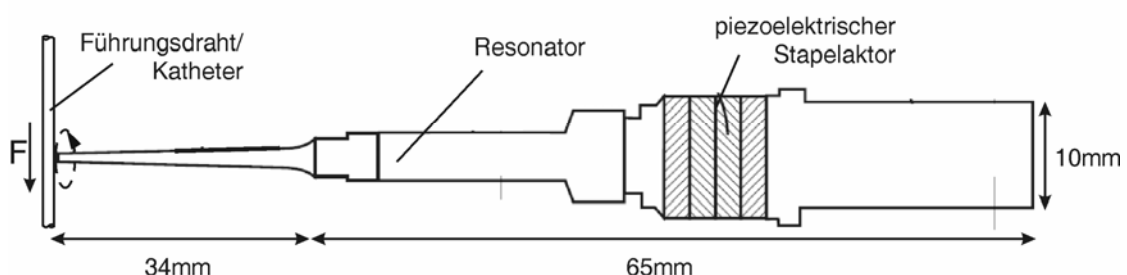


Abb. 4.27: Einkopplung des piezoelektrischer Ultraschallaktors am Führungsdraht

lissajousförmige Schwingung, die direkt durch Reibkopplung auf den Führungsdraht wirkt. Vorteil der hohen Arbeitsfrequenzen zwischen 20 kHz und 80 kHz ist, dass den Kardiologen eine konstante Kraftwirkung dargestellt wird. Die einzelnen Kraftimpulse und der ausgestrahlte Schall sind nicht warnhembar.

Bearbeitungsstand

Seit Beginn des Projektes wurden die folgenden Forschungsschwerpunkte bearbeitet und auf mehreren internationalen und nationalen Kongressen veröffentlicht (s. Veröffentlichungen des Institutes).

- Entwurf des Aktors auf Basis von FEM-Simulationen

Für den Entwurf des Aktors werden FEM-Simulationen durchgeführt. Variiert werden die Form des Resonators (stufenförmig, elliptisch und linear verjüngend) und die Abmessungen der Spitze. Zielgrößen sind die Ermittlung der Eigenmoden, sowie die Maximierung der Amplitude an der Spitze.

- Ansteuerung und Regelung des Aktors

Zur Ansteuerung des Aktors werden zwei Sinussignale mit der Schwingungsfrequenz der einzelnen Moden gemischt. Die Frequenzen werden in LabView erzeugt und in einem Mikrocontroller gemischt. Das gemischte Signal wird auf die Ansteuerspannung von $U_{ss} = \pm 300 \text{ V}$ verstärkt.

Bei Kontakt der Spitze mit dem Führungsdraht verschieben sich die Eigenfrequenzen des Resonators. Die Nachführung der Frequenzen zur Regelung des Aktors wird aktuell in einer Studienarbeit bearbeitet.

- Entwicklung und Aufbau zweier Versuchsstände

Zum Test des Aktors sind zwei Versuchsumgebungen entwickelt und aufgebaut worden. In dem ersten Versuchstand wird das durch den Aktor erzeugte Drehmoment gemessen. Der Aktor treibt eine luftgelagerte Kugel an. Die Bewegung der Kugel wird über zwei optische senkrecht zueinander montierte Sensoren erfasst. Über die Winkelbeschleunigung kann das Drehmoment und die erzeugte Leistung berechnet werden.

Im zweiten Versuchstand (s. Abb. 4.28) wird die Kraft direkt auf den Führungsdraht gekoppelt. Ziel ist die Bewertung des haptischen Feedbacks durch Kardiologen.

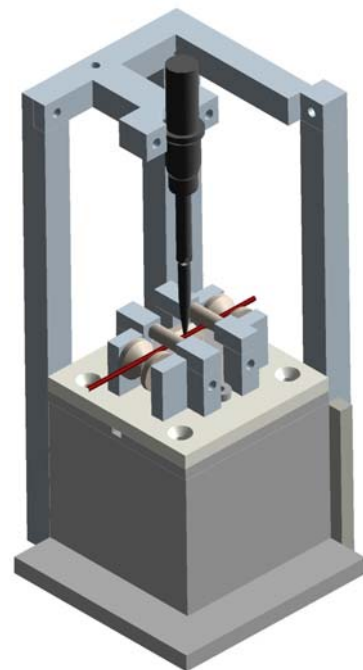


Abb. 4.28: Versuchstand zum Test des Aktors

Entwicklung der Bedieneinheit zur Integration in den Behandlungsablauf

Die Bedieneinheit (s. Abb. 4.29) stellt den maßgeblichen Erfolgsfaktor des HapCath Projektes dar. Ärzte stehen Neuerungen in ihrem Behandlungsablauf in der Regel skeptisch gegenüber. Die entworfene Bedieneinheit lässt sich unabhängig in den Behandlungsablauf integrieren und im Fehlerfall sofort wieder entfernen. Die ausgewählten Materialien sind für eine komplette Sterilisierbarkeit geeignet.

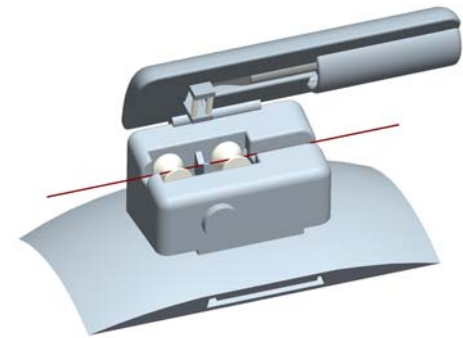


Abb. 4.29: Bedieneinheit

4.2.3.2 Haptische Schnittstelle für minimalinvasive Instrumente

Im Rahmen des von den Fachgebieten (M+EMS und MuST) gemeinsam bearbeitenden BMBF-Förderprojektes INKOMAN ist die Integration einer haptischen Schnittstelle vorgesehen. Mit Hilfe dieser Schnittstelle soll dem Chirurgen das „Fühlen“ in der minimalinvasiven Chirurgie (MIC) wieder ermöglicht werden. Diese Forschungsarbeiten werden am Beispiel der MIC-Leberchirurgie durchgeführt. Im Fachgebiet Mess- und Sensortechnik erfolgt die Bearbeitung des Teilprojektes „Haptische Schnittstelle“.

♦ Miniaturisierter Mehrkomponentenkraftsensor für die minimalinvasive Chirurgie

Bearbeiter: Jacqueline Rausch

Bearbeitungszeitraum: 01.04.2006 - 31.03.2009

siehe Abschnitt 4.3: BMBF-Förderprojekt: Intrakorporaler Manipulator – INKOMAN

♦ Haptisches Bedienelement für die minimalinvasive Chirurgie

Bearbeiter: Sebastian Kassner

Bearbeitungszeitraum: 01.08.2007 - 31.07.2010

siehe Abschnitt 4.3: BMBF-Förderprojekt: Intrakorporaler Manipulator – INKOMAN

4.2.3.3 Entwurf haptischer Schnittstellen

Nachdem im Rahmen der Dissertation von KERN [1], [2] die Methode der Force-Impression (FIP) zum ingenieurtechnischen Entwurf haptischer Bedienelemente abgeleitet wurde, konzentrieren sich die gegenwärtigen Forschungsarbeiten auf die mess-

technische Analyse der haptischen Wahrnehmung. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen eine noch effektivere Anwendung der FIP- Methode ermöglichen

[1] Kern, T. A. Haptisches Assistenzsystem für diagnostische und therapeutische Katheterisierungen. TU Darmstadt, Dissertation, 2006

[2] Kern, T. A. (Hrsg.): Entwicklung haptischer Geräte. Heidelberg: Springer, 2009

♦ Analyse menschlicher Kraftwahrnehmung

Bearbeiter: Christian Hatzfeld

Projektzeitraum: 01.04.2008 bis 31.03.2011

Aufgabenstellung

Im Rahmen des DFG-Projekts „Analyse menschlicher Kraftwahrnehmung“ soll die menschliche Wahrnehmung mechanischer Größen wie Kraft und Geschwindigkeit mit dem Ziel einer effektiveren Gestaltung von haptischen Schnittstellen untersucht werden.

Ausgehend von offenen Fragestellungen zur Wahrnehmung aus den bisherigen Projekten zu haptischen Schnittstellen soll zum einen die menschliche Wahrnehmung von Kräften bestimmt und zum anderen die Abhängigkeit der Wahrnehmung von äußeren Parametern untersucht werden. Die Untersuchung soll sich auf die technisch wichtigen Kontakte an Fingerkuppe sowie Faust- und Präzisionsgriff konzentrieren.

Bearbeitungsstand

Aus den Ergebnissen eines PEM's und im Rahmen einer Diplomarbeit [DA 1667] wurde ein hochdynamischer Kraftmessplatz aufgebaut. Dieser ist in der Lage, Kräfte bis zu 10 N im für die Haptik interessanten Frequenzbereich von statischer Anregung bis 1000 Hz zu erzeugen. Hierzu wird eine Kraftregelung verwendet, um die für die Messungen nötige Genauigkeit von 1 mN zu erzielen. Als Sensor wurde ein Kraftsensor auf der Basis von Silizium-DMS ausgewählt und mit einer an die Aufgabe angepassten Elektronik versehen.

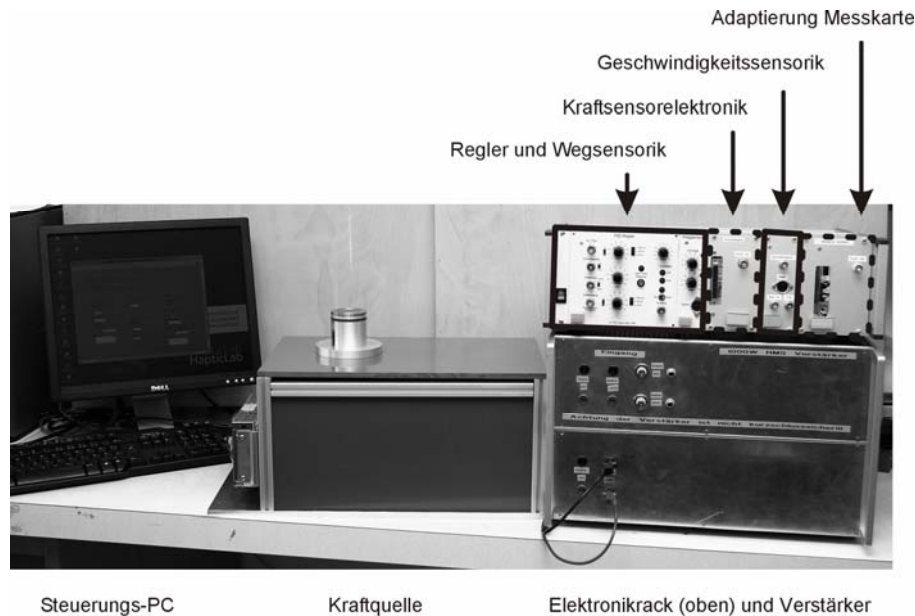


Abb. 4.30: Messplatz zur Analyse der haptischen Wahrnehmung

Der Aufbau ist weiterhin in der Lage, Geschwindigkeit und Auslenkung zu messen. Damit können alle mechanisch wichtigen Parameter aufgezeichnet und verarbeitet werden. Durch einen modularen Aufbau und die Verwendung eines FPGA für die Konfiguration von Ein- und Ausgaben des Systems können auch andere Aufgaben aus dem Bereich der Haptik mit diesem System, z.B. Aufzeichnen und Simulation von Kraft-Weg-Kennlinien, erfüllt werden.

Für die Messung unter kontrollierten Umgebungsparametern wurde eine Temperierung der Messumgebung, Möglichkeiten zur Abschottung des Probanden und verschiedene Griffstücke entwickelt. Ziel ist es, für möglichst viele Anwendungen Merkmale für die Entwicklung zu ermitteln, um die nötige Qualität eines haptischen Systems abschätzen zu können.

Auch wenn noch keine Probandenstudien durchgeführt wurden, konnte der experimentelle Nachweis der Theorie der "Force Impression" von KERN [1] mit diesem Messplatz durchgeführt werden. Die bisherigen Ergebnisse sind sehr positiv und eröffnen interessante Fragestellungen zur Bewertung von haptischen Eindrücken und multimodaler Wahrnehmung.

Ausblick

In der Folgezeit sollen zuerst bekannte Messungen zur Wahrnehmung mit dem aufgebauten Messplatz verifiziert werden. Anschließend sollen mit Hilfe von statistischer Versuchsplanung Abhängigkeiten der Wahrnehmung von verschiedenen Parametern gefunden und wenn möglich quantifiziert werden. Ein weiteres Arbeitspaket ist das Messen von Kraftwahrnehmungskennlinien und die Interpretation der Daten in Bezug auf Kompressionsmöglichkeiten haptischer Datenströme, Gestaltung von haptischen Interaktionselementen und den Entwurf von haptischen Systemen.

In Zusammenarbeit mit anderen Mitarbeitern des Instituts ist der Aufbau eines Haptik-Labors mit entsprechend angepasster Messtechnik für Entwurf und Evaluation von haptischen Systemen und der Ausrüstung für aussagekräftige Probandentests geplant.

4.2.4 Sensorsysteme und Signalverarbeitung

♦ Zungendruckmesssystem

Bearbeiter: Ingmar Stöhr

Bearbeitungszeitraum: 01.08.2006 – 31.07.2009

Aufgabenstellung

Im Rahmen des DFG Projektes „Zungendruckmessung“ soll ein System zur Erfassung des Drucks zwischen Zunge und hartem Gaumen entstehen. Es soll zur Untersuchung der funktionalen Abläufe beim Schlucken und Sprechen dienen, aber auch den statischen Zungendruck erfassen können. Die Erfassung des Drucks soll ortsauflöst mit zehn Messstellen und einer Grenzfrequenz von mindestens

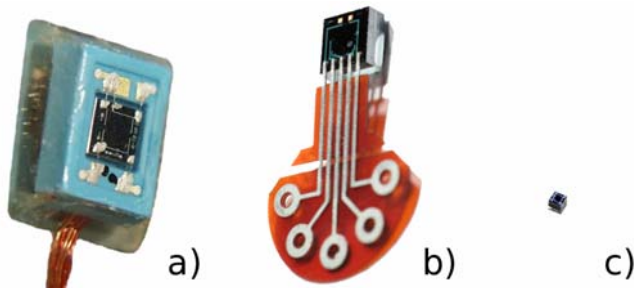


Abb. 4.31: Sensoren zur Zungendruckmessung im Größenvergleich: a) 2003, 6 x 5 x 2,5 mm³, b) 2008, 2,5 x 2,5 x 1 mm³, c) geplant, 0,6 x 0,6 x 0,5 mm³

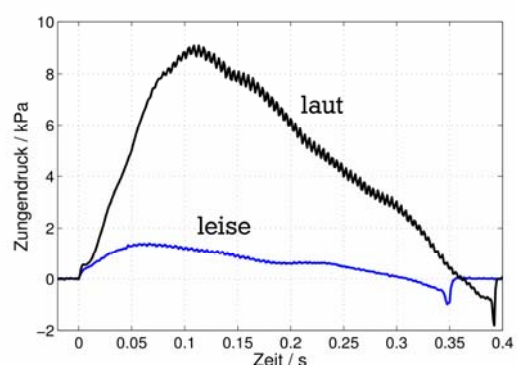
Abb. 4.32: Gaumenplatte im Mundraum

Abb. 4.33: Zungendruckverlauf

100 Hz erfolgen, um die Zungenbewegung beim Sprechen erfassen zu können. Die Signalübertragung soll drahtlos erfolgen, da Kabel den Patienten zusätzlich irritieren und die natürliche Zungenfunktion beeinflussen. Dies bedingt die Integration der Energieversorgung und der Auswerteelektronik in das im Mund befindliche Messsystem.

Bearbeitungsstand

In vorangegangenen Arbeiten am Institut EMK wurden piezoresistive Absolutdrucksensoren eingesetzt, die in einen Keramiksockel eingeklebt und über Bonddrähte kontaktiert wurden (Abb. 4.31a). Dieser Aufbau weist inklusive der schützenden Silikonummantelung eine Dicke von ca. 2,5 mm auf. Da die Dicke des Messsystems



entscheidenden Einfluss auf die Irritation des Probanden bei der Messung hat, wurde ein flacherer Aufbau gesucht. Die Wahl fiel auf TAB (Tape Automated Bonding) kontaktierte Sensorelemente der Fa. Keller (Abb. 4.31b). Diese werden direkt in einer ca. 0,6 mm dicken, tiefgezogenen Gaumenplatte montiert und dort mit Silikon vergossen. Durch diese Maßnahme konnte die Dicke des Messsystems von 2,5 mm auf 1,5 mm reduziert werden.

Abb. 4.32 zeigt die so hergestellte Gaumenplatte im Mund. Die Auswertung erfolgt bei dieser Version drahtgebunden, außerhalb des Mundraumes, da vorrangiges Ziel der Test der Sensoren war.

Abb. 4.33 zeigt den mit einer Abtastrate von 900 Hz aufgenommenen Zungendruckverlauf beim Sprechen des Konsonanten „n“, einmal leise und einmal laut. Deutlich sind neben dem niederfrequenten Anlegen der Zunge an den Gaumen auch die Vibration, die den Laut „n“ prägen, zu erkennen. Dies verdeutlicht die hohe Dynamik des Messsystems.

Ausblick

In einem nächsten Schritt ist der Einsatz noch kleinerer Sensorelemente der Fa. SMI mit nur noch $0,6 \times 0,6 \times 0,6 \text{ mm}^3$ (Abb. 4.31) vorgesehen. Außerdem wurde ein, an die speziellen Anforderungen angepasster, piezoresistiver Absolutdrucksensor mit Abmessungen von $0,8 \times 0,8 \times 0,6 \text{ mm}^3$ entworfen. Dabei wurde besonderer Wert auf die Möglichkeit einer Kontaktierung ohne Drahtbonden gelegt. Die Elemente werden zurzeit beim Kooperationspartner CiS-Erfurt gefertigt. Der nächste Schritt ist dann die Integration von Sensoren, Auswerteelektronik, Energieversorgung und Telemetrie auf einer flexiblen Leiterplatte, die dann an einer tiefgezogenen Gaumenplatte befestigt werden kann.

Das Projekt wird bis Juli 2009 durch die DFG gefördert.

◆ Integriertes Sensorsystem für rotodynamische Pumpen

Bearbeiter: Reinhard Werner

Bearbeitungszeitraum: 01.06.2005 – 31.05.2010

Aufgabenstellung

Ziel der Forschungsarbeit ist es, ein Sensorsystem zu entwickeln und in eine bestehende Kreiselpumpe zu integrieren. Mit Hilfe der Sensorsignale soll der aktuelle Betriebszustand bestimmt und der Wirkungsgrad optimiert werden. Die Bearbeitung wird in enger Zusammenarbeit mit dem Institut „Fluidsystemtechnik“ des Fachbereichs Maschinenbau, dass den Pumpenmessplatz zur Verfügung stellt, durchgeführt. Der ausgewählte Demonstrator (Abb. 4.34) erreicht einen maximalen Volumenstrom

q_v von 180 m³/h bei einer maximalen Druckerhöhung Δp von 6 bar. Dies entspricht einer mechanischen Abtriebsleistung von 24 kW.

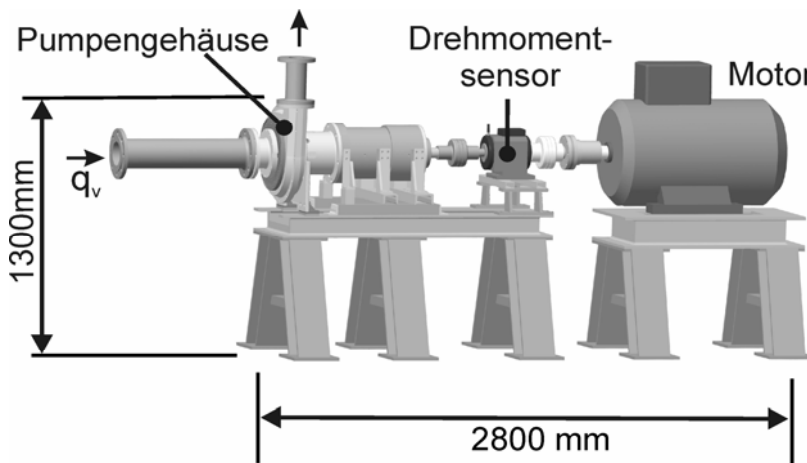


Abb. 4.34: CAD Darstellung der Kreiselpumpe

Die Hauptaufgabe der Arbeit besteht im Entwickeln eines Sensorsystems mit angepasster Auswerteeinheit. Das Sensorsystem soll die Betriebsgrößen der Pumpe, z.B. Förderhöhe, und die Prozessgrößen für die Anlage, z.B. Volumenstrom, erfassen. In der Auswerteeinheit werden die Ausgangssignale der

Sensoren verstärkt, digitalisiert, gefiltert und bewertet, um sie anschließend der Betriebszustandsanalyse und Arbeitspunkteinstellung zuzuführen. Außerdem werden Merkmale für die Selbstüberwachung des Sensorsystems abgeleitet. Hierzu sind geeignete Überwachungsverfahren auszuwählen. Eine Rekonfiguration ermöglicht eine Aufrechterhaltung des Betriebs, notfalls auch eingeschränkt, wenn ein Sensor ausfällt. Somit wird ein Totalausfall, der Kreiselpumpe wie auch des Sensorsystems, verhindert. In weiteren Projekten ist eine Schadensfrüherkennung für die Pumpe geplant, um eine Aussage zu treffen, wann eine vorbeugende Wartung/Reparatur notwendig und sinnvoll ist, um so unvorhergesehene Ausfälle zu vermeiden.

Die Auswerteeinheit soll die gewonnenen Informationen an eine übergeordnete Prozessleitstelle weiterleiten, damit auf Veränderungen kurzfristig reagiert werden kann.

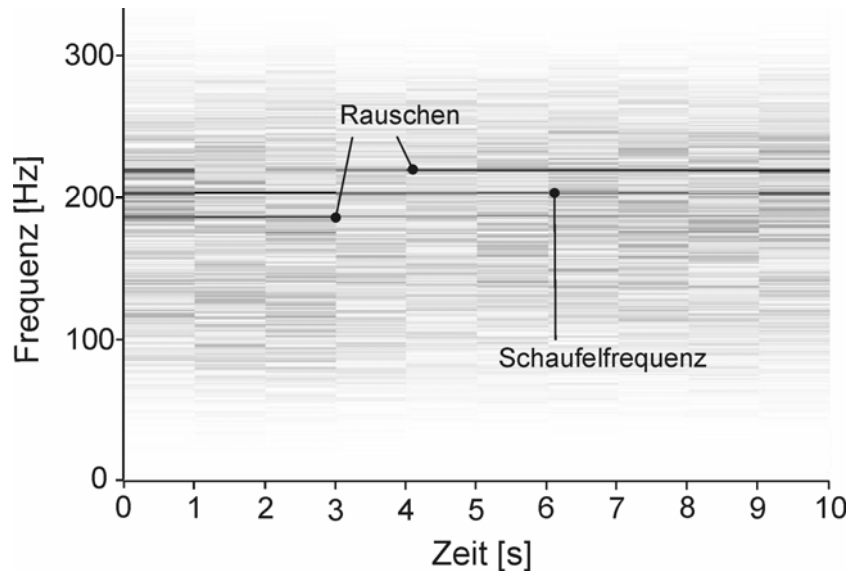
Zur Analyse des Betriebszustands der Pumpe werden ausgewählte Messgrößen benötigt. Sowohl aus Kosten- als auch Zuverlässigkeitsgründen wird eine möglichst geringe Anzahl von Sensoren angestrebt. Die bisherigen Untersuchungen führen zu folgenden, direkt zu erfassenden physikalischen Messgrößen in und an der Kreiselpumpe:

- zugeführter elektrische Strom und Spannung : $i(t)$, $u(t)$
- ortsabhängige statische und dynamische Drücke: $p(x)$, $p(x,t)$
- Gehäuseschwingungen: $a(t)$
- Temperatur des Fluids: $\vartheta(t)$

Bearbeitungsstand

Als Auswerteeinheit dient ein Echtzeitsystem von der Fa. National Instruments. Derzeit wird an der Implementierung verschiedener Programmteile in das Hauptprogramm gearbeitet. Hierzu zählen die Bestimmung des Volumenstroms q_v mittels Druckdifferenzen in der Kreislumpumpe, die robuste Ermittlung der Drehzahl n über die Analyse der dynamischen Drucksignale und weitere Merkmale, z.B. dass Kavitation am Saugmund auftritt. Als Programmiersprache dient LabView der Fa. National Instruments.

Ein Analysebeispiel ist die Bestimmung der Drehzahl: Das Drucksignal $p(t)$ wird über 10 s in einem Spektrogramm analysiert. Die Drehzahl zeichnet sich als kontinuierliche Linie gegenüber den Störungen ab, die nur kurzzeitig auftreten (Abb. 4.35).



Ausblick

Abb. 4.35: Spektrogramm des Drucksignals

Die entwickelten Verfahren zur Bestimmung der Prozess- und Betriebsgrößen sowie der Diagnose und Selbstüberwachung müssen ihre Funktionstüchtigkeit und Zusammenspiel am Demonstrator unter Beweis stellen.

Das Projekt wurde im Zeitraum Juni 2005 bis Mai 2008 durch die DFG gefördert.

◆ Druckbasierter störungstoleranter Durchflusssensor

Bearbeiter: Stephan Funke

Projektzeitraum: 01.03.2007 bis 28.02. 2009

Aufgabenstellung

Bei dem zweigeteilten DFG-Projekt „Selbstüberwachung und Rekonfiguration differenzdruckbasierter Durchflussmessverfahren für Flüssigkeiten und Untersuchung von Anwendungsmöglichkeiten bei miniaturisierten, „störungstoleranten Durchflusssensoren“ sollen im Rahmen des hier behandelten ersten Teils die Grundlagen von Selbstüberwachung, Diagnose und Rekonfiguration für autarke Sensoren herausgearbeitet werden. Als Grundlage ist aus der Vielzahl der in diesem Bereich verwendeten Begriffe zunächst eine exakte Begriffsdefinition durchzuführen.

Aufbauend darauf ist aus den vorgestellten Verfahren am Beispiel eines druckbasierten Durchflusssensors ein Lösungskonzept für einen störungstoleranten Sensor zu erarbeiten und am Durchflussmessstand zu überprüfen. Das Konzept ist die Grundlage für den zweiten Teil des Projektes, der Entwicklung eines miniaturisierten, störungstoleranten Durchflusssensors.

Bearbeitungsstand

Zunächst wurden die bekannten Verfahren zur Überwachung, Diagnose und Rekonfiguration von Sensoren strukturiert. Dabei wurden nur die Verfahren berücksichtigt, die für autarke Sensoren anwendbar sind, d. h. die unabhängig von dem Prozess, in dem der Sensor eingesetzt ist, den Sensor überwachen, diagnostizieren und rekonfigurieren können. Dabei ist die Auswahl an möglichen Diagnose- und Rekonfigurationsverfahren deutlich geringer gegenüber den ausschließlichen Überwachungsverfahren.

In Verbindung mit den druckbasierten Durchflussmessverfahren wurde ein Grobkonzept für einen störungstoleranten Durchflusssensor erarbeitet. Dabei flossen die Ergebnisse früherer Arbeiten [1], die bereits die Selbstüberwachung in Durchflusssensoren integriert hatten, sowie eine Diplomarbeit [DA 1680] ein und wurden entsprechend erweitert, so dass der Durchflusssensor nun auch eine Diagnose- und Rekonfigurationsmöglichkeit bietet. Ein erster Prototyp eines selbstüberwachenden Wirbel-Wirkdruck-Durchflusssensors wurde aufgebaut und erfolgreich getestet (Abb. 4.36).

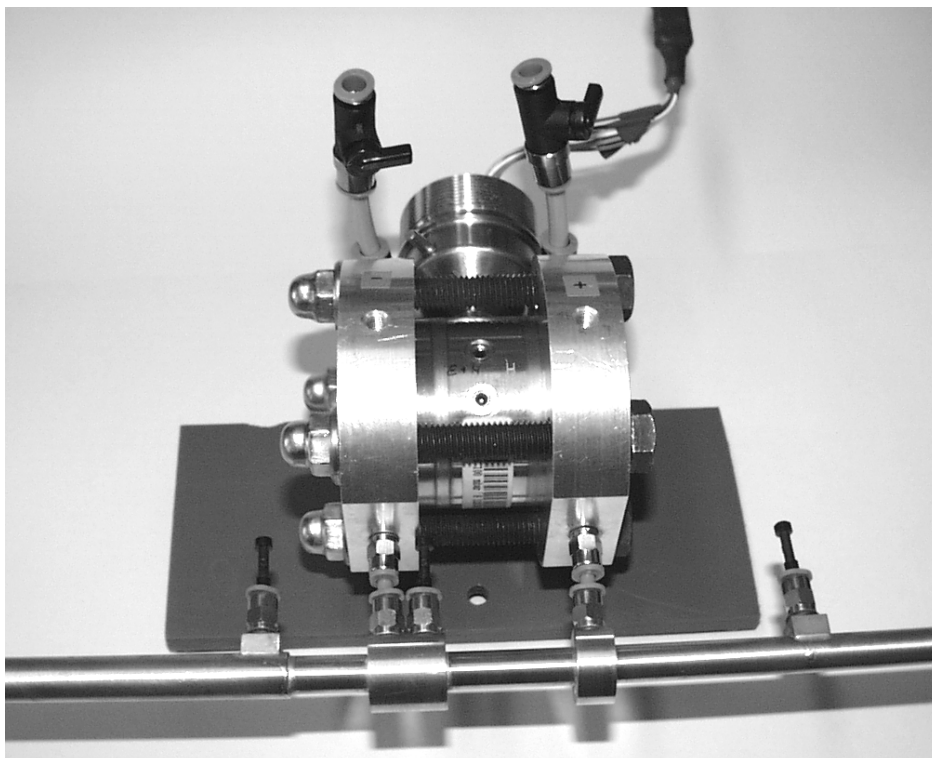


Abb. 4.36: Prototyp eines selbstüberwachenden Wirbel-Wirkdruck-Durchflusssensors

Der am Institut vorhandene Durchflussmessplatz wurde durch den Wegfall einer älteren Mikrocontroller-Steuerung und durch den Einsatz eines neuen PCs mit neuer Multifunktionskarte überarbeitet.

Ausblick

Durch umfangreiche Untersuchungen, bei denen die möglichen Störungen simuliert werden, soll die Eignung des Grobkonzeptes für den störungstoleranten Durchflusssensor nachgewiesen werden.

Aufbauend auf den Arbeiten des hier behandelten ersten Teils des Projektes ist ein zweiter Teil, der die Umsetzung des Grobkonzeptes in Form eines miniaturisierten Durchflusssensors umfasst, geplant.

Das Projekt wird im Zeitraum Februar 2007 bis Januar 2009 durch die DFG gefördert.

Verweise

[1] Müller, Ralf: Selbstüberwachung differenzdruckbasierter Durchflussmessverfahren für Flüssigkeiten, TU Darmstadt, Dissertation, 2006

♦ Telemetrische Erfassung von neuronalen Signalen

Bearbeiter: Lutz Rafflenbeul

Bearbeitungszeitraum: 1.9.2006 – 31.8.2009

Einleitung

In Kooperation mit dem Deutschen Primatenzentrum (DPZ, Göttingen) wirkt das Institut EMK in dem durch die EU geförderten Forschungsnetzwerk EUPRIM-NET von 8 europäischen Primatenzentren mit.

Ein Forschungsfeld am DPZ ist die Bewegungsplanung von Primaten. Hierzu wird im Gehirn gemessene Aktivität in verschiedenen Experimentierumfeldern betrachtet, in denen die Versuchstiere Entscheidungen für eine Armbewegung treffen müssen. Zur Messung der Gehirnaktivität werden Mikroelektroden in das Gehirn eingebracht und die sich ändernden elektrischen Potentiale abgeleitet und verstärkt. Die am PC erfassten Signale werden anhand von charakteristischen Merkmalen mittels Cluster-Algorithmen einzelnen Neuronen zugeordnet. Bisher werden die Versuchstiere in einem Experimentierstuhl fixiert.

Um die Belastung von Versuchstieren zu reduzieren wird im Rahmen des EUPRIM-NET-Projektes ein minimalinvasives Messsystem mit drahtloser Datenübertragung zur Aufnahme neuronaler Aktivität entwickelt. Ziel ist ein miniaturisiertes, auf dem

Kopf der Tiere tragbares System. Dieses soll die Beobachtung von sich frei bewegendes Rhesus-Affen ermöglichen. Neben einer erheblichen Verbesserung der Situation der Versuchstiere, eröffnet die drahtlose Erfassung neue Beobachtungsmöglichkeiten in Experimenten sozial interagierender Tiere.

Da das Messsystem einerseits von den Affen getragen werden muss, jedoch andererseits gegen Beschädigung durch die Tiere geschützt werden soll, ist eine hohe Integrationsdichte bei gleichzeitig stabiler Gehäusung erforderlich.

Neuronale Signale haben eine Bandbreite von etwa 10 kHz und weisen eine charakteristische Signalfrequenz von etwa 1 kHz auf. Bei einer Abtastrate von 25 kHz mit einer Auflösung von 8 Bit resultiert eine erforderliche Übertragungsbandbreite von 200 kBit/s pro Kanal.

Bearbeitungsstand

In der ersten Entwicklungsphase wurde ein Prototyp aufgebaut, der aus einem 6-Kanal-Verstärker und einem bidirektionalen Übertragungsmodul besteht. Es können die unbearbeiteten Daten von vier gleichzeitig abgeleiteten Elektroden zum PC übertragen werden, als auch eine angeschlossene Positioniereinheit und der programmierbare Vorverstärker angesteuert werden.

Der Vorverstärker ermöglicht die parallele Signalerfassung von sechs unabhängig in das Gehirn eingebrachten Elektroden. Je nach Signalstärke kann die Verstärkung jedes Kanals von 40 bis 100 dB programmiert werden.

Zurzeit werden die Komponenten zu einem miniaturisierten Prototypen weiterentwickelt, um im Frühjahr 2009 Tierversuche durchführen zu können. Der Aufbau wird aus einem dreilagigen Platinenstapel mit einer Grundfläche von 20 mm x 30 mm bestehen und über einen Lithium-Ionen-Akku mit Energie versorgt.

Ausblick

Basierend auf den bisher gewonnenen Erfahrungen wird angestrebt, die Zuordnung der Messdaten zu einzelnen Neuronen vom PC in das Telemetriesystem zu verlagern und so den erforderlichen zu übertragenden Datenstrom erheblich zu reduzieren. Die Datenübertragung bestimmt zurzeit maßgeblich den Energiebedarf des Gesamtsystems, so dass eine intelligente Vorauswahl der Daten eine Erfassung von mehreren Neuronen bei gleicher Laufzeit ermöglichen soll.

4.3 BMBF-Förderprojekt: Intrakorporaler Manipulator – INKOMAN

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Helmut F. Schlaak

Bearbeiter: Andreas Röse, Cédric Wohlleber, Jacqueline Rausch, Sebastian Kassner.

Bearbeitungszeitraum: 01.04.2005 – 31.12.2008

Motivation

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde in der Medizin eine revolutionäre Operationstechnik entwickelt: die minimalinvasive Chirurgie. Heute ist diese Operationsmethode, bei der Chirurgen mit langen dünnen Instrumenten durch kleine künstliche oder natürliche Zugänge operieren, für zahlreiche Eingriffe zum Standard geworden. Die Anwendungsbereiche sind vielfältig: in Rachenraum, Darm, Blase und insbesondere auch im unteren Bauchraum (abdominal) wird minimalinvasiv operiert.

Das Projekt INKOMAN (INtraKORporaler MANipulator) bildet ein Teilprojekt des deutschlandweit bearbeiteten Projekts FUSION (FUture Environment for Gentle Liver Surgery Using Image-Guided Planning and Intra-Operative Navigation), in dem verschiedene Operationstechniken und neue Instrumente für Leberoperationen entwickelt werden sollen. INKOMAN fokussiert sich auf die minimalinvasive Chirurgie der Leber. Abb. 4.37 zeigt einen typischen minimalinvasiven Eingriff.

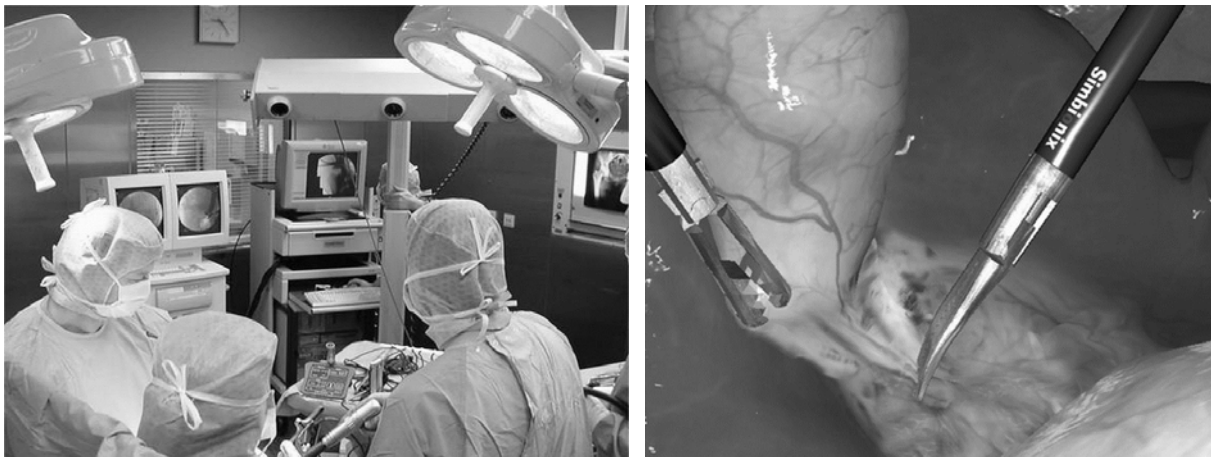


Abb. 4.37: Minimalinvasive Operation und typisches intrakorporales Kamerabild während einer Gallenblasenentfernung

Bei minimalinvasiven Eingriffen im Abdomen legen Chirurgen mehrere künstliche Zugänge durch die Bauchdecke, so genannte Trokare. Durch diese können sie ihre Instrumente einbringen, die zumeist starr und stabförmig ausgeführt sind. Die Instrumentenspitze ist oftmals als Greifer zum Halten von Gewebe oder als beispielsweise Schere oder Ultraschall-Schneidegerät zum Trennen von Gewebe ausgeführt.

Zwei wesentliche Nachteile entstehen durch diese Vorgehensweise:

1. Die Chirurgen verlieren einige Bewegungsfreiheitsgrade:

Die stabförmigen Instrumente haben eine Vorzugsrichtung, in der gearbeitet wird. Wenn aus unterschiedlichen Richtungen Organe bearbeitet werden, so muss dazu ein weiterer Trokar mit einer anderen Einstichrichtung gewählt werden.

2. Die Chirurgen verlieren ihren Tastsinn:

Durch Reibung an den Trokaren und durch den rein mechanischen Aufbau der Instrumente vermindert sich der Gefühlseindruck des Organs. Der Chirurg kann das Gewebe nicht mehr haptisch beurteilen und verliert das Gefühl für die Höhe der Kraft, mit der er auf das Gewebe einwirkt.

Ziel des Projekts INKOMAN

Das Ziel des Projekts INKOMAN ist die Entwicklung eines haptischen Telemanipulationssystems, mit dem die oben genannten Nachteile bei minimalinvasiven Operationen vermindert werden. Abb. 4.38 verdeutlicht die hierzu notwendigen Bestandteile.

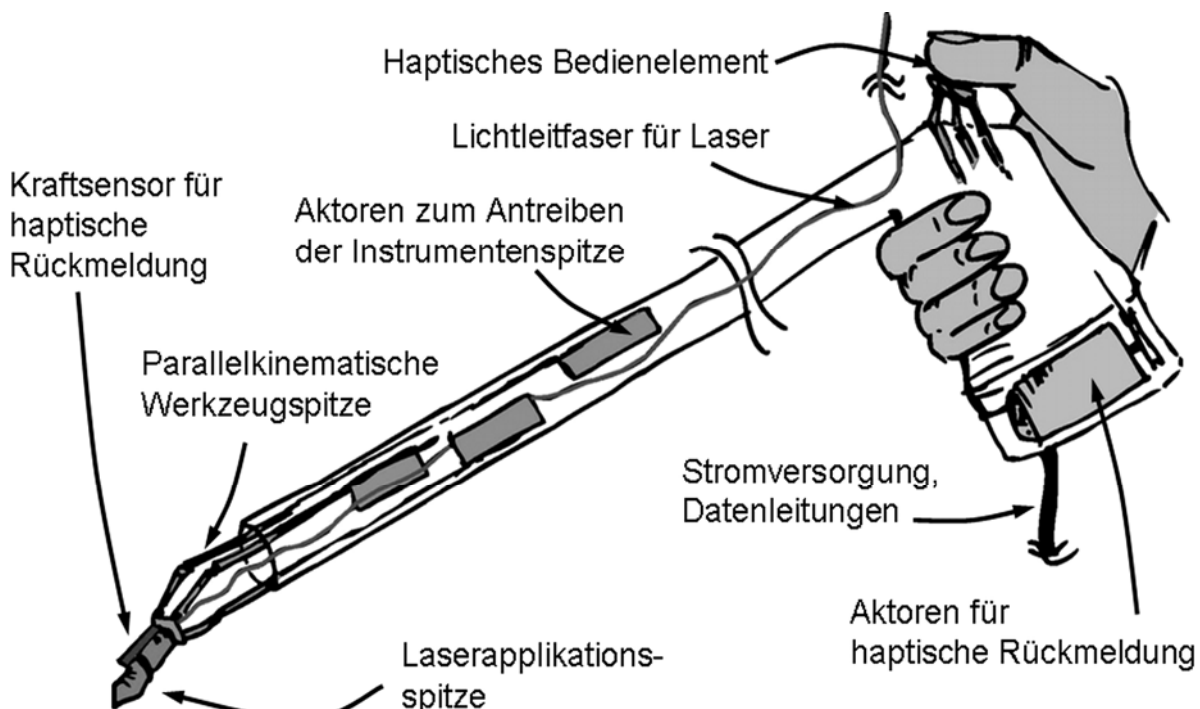


Abb. 4.38: Komponenten von INKOMAN

Der Chirurg erhält ein *haptisches Bedienelement*, mit dem er eine intrakorporale Manipulationsplattform steuern kann, die durch einen Trokar in den Körper eingeführt wird. Über dieses haptische Bedienelement werden zusätzlich intrakorporal gemessene Kräfte dargestellt.

Eine *intrakorporale Aktorik* setzt die Wegvorgaben des Chirurgen in eine Bewegung um. Hier werden im Projekt INKOMAN piezoelektrische Antriebe eingesetzt und gezielt weiterentwickelt.

Eine *intrakorporaler parallelkinematischer Mechanismus* setzt die Aktorbewegungen in für die Chirurgie geeignete Bewegungen (z.B. Abknicken des Instruments) um.

Eine *intrakorporale Kraftsensorik* misst Interaktionskräfte, die zwischen INKOMAN und Gewebe auftreten. Diese Kräfte werden dem Chirurg am haptischen Bedienelement dargestellt.

Projektpartner (Bauer & Häselbarth Chirurg GmbH, Karl Storz Endoskope, Institut für Biomedizinische Optik Lübeck) im FUSION Projekt arbeiten an *Werkzeugen und Visualisierungseinrichtungen*, die an die intrakorporale Plattform adaptiert werden.

Mitte 2008 konnte auf einem Projekttreffen das erste Gesamtfunktionsmuster von INKOMAN mit erhöhter Beweglichkeit an der Instrumentenspitze und intuitiver Einhandbedienung vorgestellt werden. Dieses Funktionsmuster wurde am 27.10.2008 erfolgreich in einem Tierexperiment zur Resektion eines kleinen Leberstücks eingesetzt (siehe Abb. 4.39) und auf der Medica 2008 in Düsseldorf öffentlich vorgestellt.

Im Folgenden werden die vier Teilprojekte beschrieben.

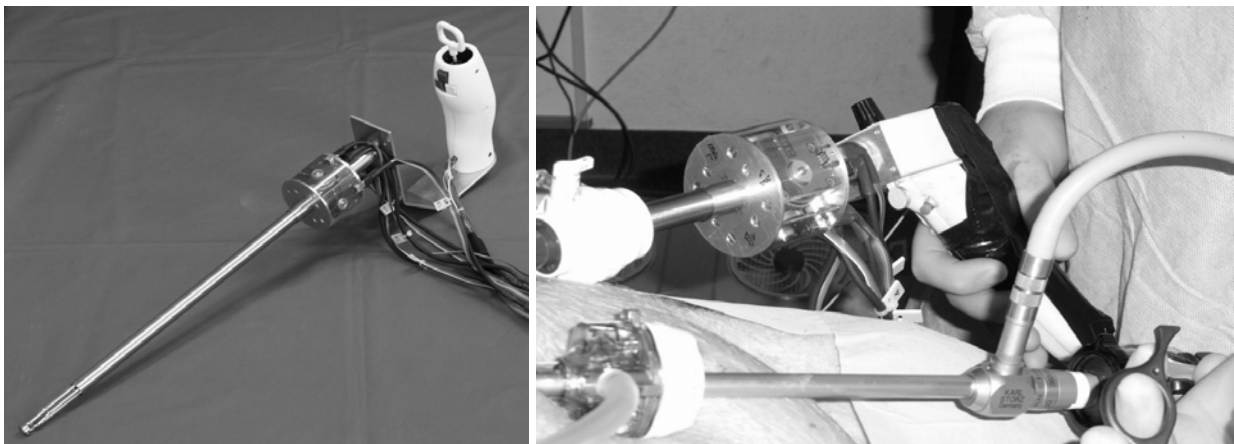


Abb. 4.39: INKOMAN Funktionsmustersaufbau und Einsatz in einem Tierexperiment am Schwein.

♦ Miniaturisierte intrakorporale kinematische Strukturen für die minimalinvasive Chirurgie

Bearbeiter: Andreas Röse, Arbeitsgruppe Prof. Schlaak

Bearbeitungszeitraum: 01.07.2005 – 30.06.2010

Ziel der Arbeit

Für das Projekt INKOMAN wird an der Spitze des Instruments eine Plattform zur Werkzeugaufnahme benötigt, die in mindestens zwei Richtungen abwinkelbar ist. Die Abwinkelung sollte in einer Arbeitsrichtung $\pm 90^\circ$ überstreichen können, damit es möglich ist, aus verschiedenen Richtungen an einem Organ zu arbeiten, ohne den Zugang zum Körper verlegen zu müssen. So wird ein Arbeiten „um die Ecke“ ermöglicht. Die Umsetzung von mindestens einem weiteren Freiheitsgrade ermöglicht das Arbeiten in einem räumlich ausgeprägten Gebiet. Es eröffnen sich dann auch die Möglichkeiten einer vollautomatisierten Schnittführung – also die robotergestützte Chirurgie in einem handlichen Gerät. Kraftvolle Bewegungen mit bis zu 5 N statischer Last an der Instrumentenspitze sollen ausgeführt werden. Ein Bauraum von ≤ 15 mm Durchmesser und ≤ 80 mm Länge steht für die bewegte Instrumentenspitze zur Verfügung.

Parallelkinematischer Mechanismus für INKOMAN

Für die Umsetzung der beschriebenen Anforderungen werden parallelkinematische Mechanismen betrachtet. Im Gegensatz zu seriellen kinematischen Mechanismen können hier Strukturen zum Einsatz kommen, bei denen die Antriebe im Instrumentenschaft untergebracht sind (Abb. 4.38). Die Instrumentenspitze besteht hierbei aus Streben; sie sind durch passive (nicht angetriebene) Gelenke miteinander gekoppelt.

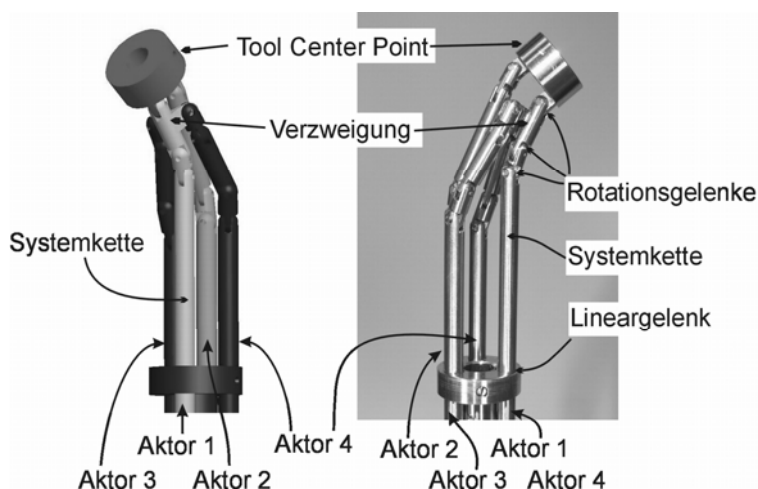


Abb. 4.40: Parallelkinematischer Mechanismus an der INKOMAN-Instrumentenspitze mit vier Freiheitsgraden

Abb. 4.40 zeigt den für INKOMAN entwickelten parallelkinematischen Mechanismus. Die vier Aktoren sind im Instrumentenschaft fest angeordnet und treiben die passive Struktur in vier Freiheitsgraden an. Die Systemkette bestimmt die möglichen Bewegungen. In ihr sind drei rotatorische Freiheitsgrade enthalten, die die Arbeitsrichtung des Tool Center Points verändern.

Zusätzlich ist eine Linearbewegung in Richtung des Instrumentenschaftes möglich. Die drei weiteren Ketten schließen die kinematischen Ketten und ermöglichen so einen Antrieb der Freiheitsgrade der Systemkette. Unterschiede zu bekannten parallelkinematischen Mechanismen ergeben sich durch die Verzweigung und durch den hauptsächlichlichen Einsatz von Gelenken mit einem rotatorischen Freiheitsgrad. Diese lassen sich besonders einfach und insbesondere auch monolithisch herstellen.

Der Arbeitsraum des entwickelten Mechanismus ist in Abb. 4.41 dargestellt. Die Achse des Instrumentenschafts zeigt in x-Richtung und liegt bei $y = 0$, $z = 0$. Die Pfeile kennzeichnen die Arbeitsrichtung, in die der Tool-Center-Point am Rand des Arbeitsraumes zeigt. Eine Berechnung der zur Steuerung notwendigen Inverskinematik geschieht durch ein Newton-Näherungsverfahren.

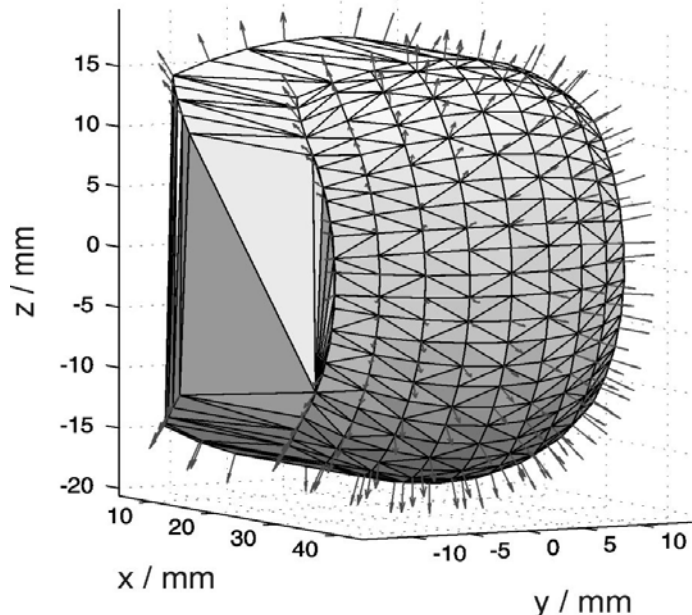


Abb. 4.41: Plot des Arbeitsraums des parallelkinematischen Mechanismus.

◆ Piezoelektrische Antriebe für die minimalinvasive Chirurgie

Bearbeiter: Cédric Wohlleber, Arbeitsgruppe Prof. Schlaak

Bearbeitungszeitraum: 01.07.2007 – 30.12.2012

Hintergrund

Die parallelkinematische Werkzeugspitze von INKOMAN wird von 4 linearen Antrieben bewegt. Eine Kraft von 5 N an der Spitze ist für die Leberchirurgie erforderlich. Durch die Übertragung des Mechanismus sollen die Antriebe bis zu 20 N aufbringen können. Die Stangen sollen Geschwindigkeiten bis zu 20 mm/s erreichen, um den Bewegungen des Chirurgen genau folgen zu können. Dabei sollen die Antriebe im Instrument integrierbar sein und somit eine geringe Baugröße aufweisen. DC Kleinstmotoren liefern ausreichende Leistungen, sind aber nur mit Getriebe anwendbar. Hohe Leistungsdichten bei niedriger Drehzahl sind mit piezoelektrischen Antrieben erreichbar.

Einsatz von Ultraschallmotoren

Um ein Funktionsmuster von INKOMAN zu realisieren werden kommerziell vorhandene Aktoren eingesetzt. Die Ultraschallmotoren der Firma Shinsei weisen für ihre Größe ein sehr hohes Drehmoment auf. Dieses wird durch Reibung einer akustischen Wanderwelle im Ultraschallbereich erzeugt (Abb. 4.42). Es ist kein Getriebe erforderlich, was ein sehr kompaktes und dynamisches System ermöglicht.

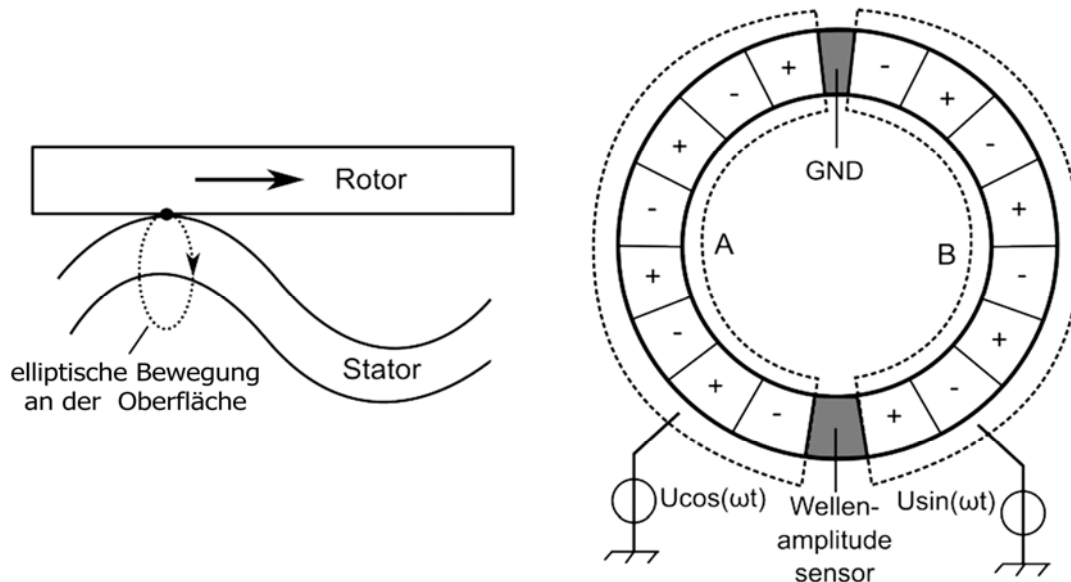


Abb. 4.42: Prinzip des Wanderwellen-Ultraschall-Motors. rechts: piezoelektrische Elemente erzeugen eine akustische Wanderwelle im Stator. links: die Wanderwelle treibt den Rotor durch Reibung

Ein Nachteil dieser Motoren ist, dass sie schwer zu regeln sind. Ihre Drehzahl ist nicht linear und abhängig von der Last und der Temperatur. Um eine präzise Positionierung der Werkzeugspitze zu erreichen, wurde eine Positions- und Geschwindigkeitsregelung entwickelt (Abb. 4.43), und Antriebe analysiert und modelliert.

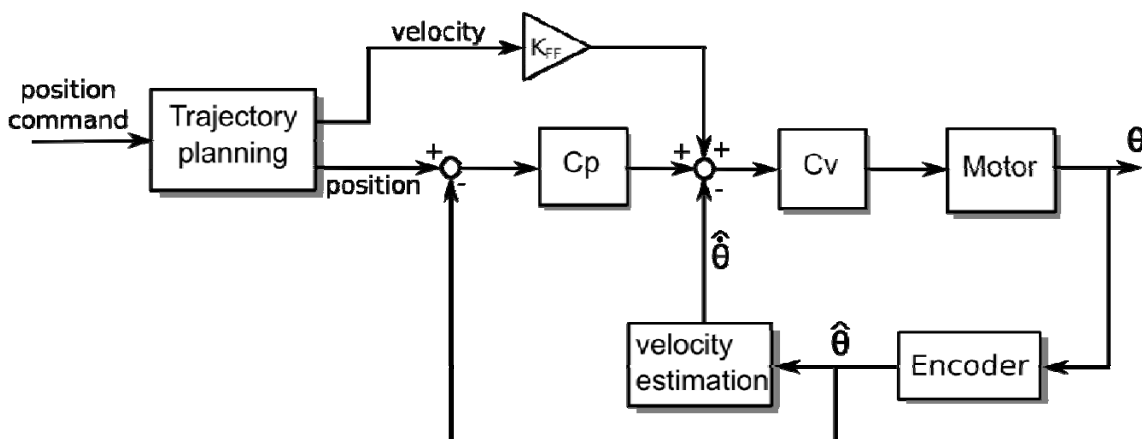


Abb. 4.43: Blocksaltbild der Positions- und Geschwindigkeitsregelung

Die Regelung wurde erfolgreich in einem Prototyp umgesetzt (Abb. 4.44). Das Antriebsmodul enthält 4 Ultraschallmotoren mit Positionssensorik. Die Stangen werden durch Zahnräder linear angetrieben.

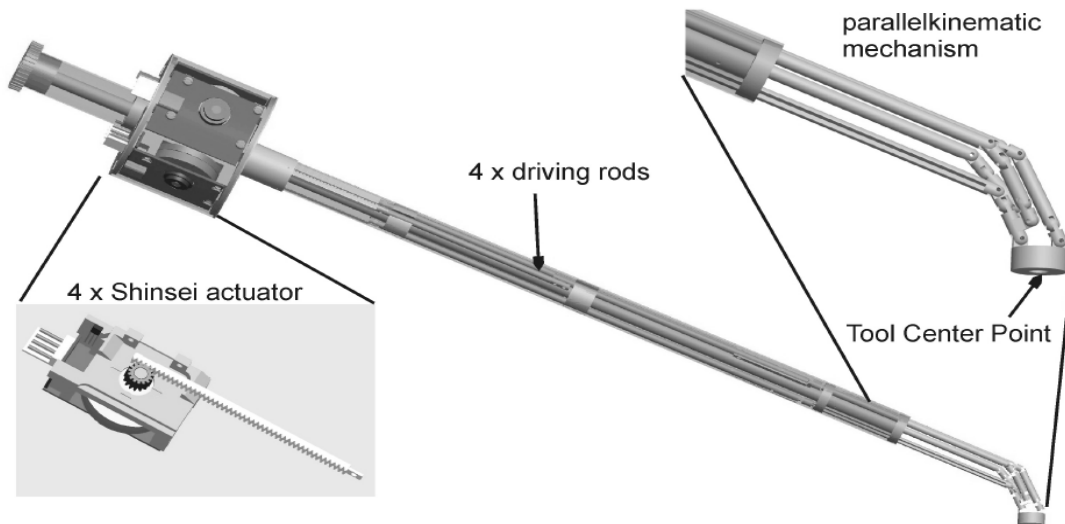


Abb. 4.44: CAD-Zeichnung des Funktionsmodells von INKOMAN

◆ Miniaturisierter Mehrkomponenten-Kraftsensor für die minimalinvasive Chirurgie

Bearbeiter: Jacqueline Rausch, Arbeitsgruppe Prof. Werthschützky

Bearbeitungszeitraum: 01.04.2006 - 31.03.2009

Aufgabenstellung

Zur Realisierung der haptischen Bedienbarkeit von INKOMAN sind u.a. miniaturisierte Mehrkomponenten-Kraftsensoren zu entwickeln, mit deren Hilfe die Interaktionen zwischen Leber und Instrument erfasst werden.

Die Anforderungen an die Sensoren leiten sich aus drei Teilbereichen ab: Der intrakorporale Einsatz erfordert miniaturisierte und sterilisierbare Sensoren, die auch gegenüber dem operativen Umfeld (Kontakt mit Lymphe bzw. Blut, hochfrequente Störungen durch Peripheriegeräte, Temperaturgradienten, usw.) störungsunempfindlich sind. Die Art der Interaktion mit dem Weichteilgewebe bestimmt die Nennkraft ($F_N = 5 \text{ N}$) und die Anzahl ($n = 3$) der zu detektierenden Kraftkomponenten. Die Eigenschaften der menschlichen haptischen Wahrnehmung bestimmen die Kraftauflösung und Dynamik der Signale. Um die auftretenden Interaktionskräfte möglichst unverfälscht zu erfassen, ist ein Mehrkomponenten-Kraftsensor in die Instrumentenspitze von INKOMAN integriert. *Tabelle 4.5* fasst die bei der Entwicklung zu berücksichtigenden Kernanforderungen zusammen.

Tabelle 4.5: Zusammenstellung ausgewählter Anforderungen

Kenngröße	Nennkraft	Kraftauflösung	Dynamik	Bauraum	Fehler
Wert	5 N	10 mN	10^{-1} bis 10^3 Hz	$d \leq 10$ mm, $h \leq 10$ mm	$F_{lin} < 5 \%$ $F_{hys} < 10 \%$

Bearbeitungsstand

Zur intrakorporalen Kraftmessung werden die bei der Interaktion auftretenden Deformationen der Instrumentenspitze erfasst und ausgewertet. Die Entwicklung kann somit in zwei Teilbereiche untergliedert werden: Entwurf und Auslegung miniaturisierter Dehnmess Elemente sowie die Ableitung einer geeigneten Topologie für die deformierbare Instrumentenplattform, die den Verformungskörper des Sensors bildet.

Zur Dehnungsmessung wurden optische (Faser-Bragg-Gitter-Sensoren) und piezoresistive Prinzipien (Dünn- und Dickschichtwiderstände, Silizium-Dehnmess Elemente) untersucht. Abb. 4.45 zeigt das erste Funktionsmuster eines Zweikomponentenkraftsensors mit piezoresistivem Silizium-Dehnmess Element, der die oben genannten statischen Anforderungen erfüllt.

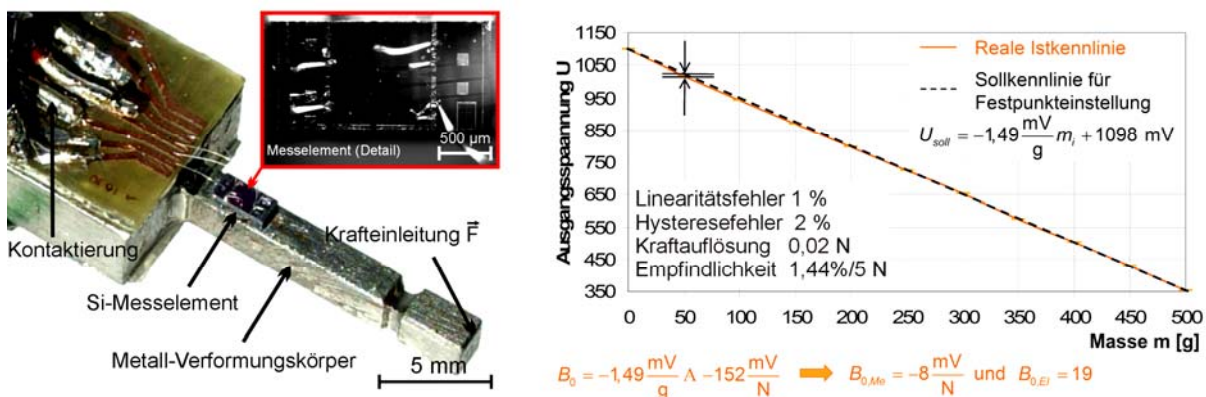


Abb. 4.45: Funktionsmuster eines piezoresistiven Zweikomponentensensors.

Aufgrund der hohen Dehnungsübertragung ($k \approx 80$) und der guten Miniaturisierbarkeit werden piezoresistive Silizium-Dehnmess Elemente optimiert. Variiert werden die Geometrie des Chips sowie die Größe und Lage der Widerstandsgebiete. Vier Varianten werden am Institut für Mikrosensorik (CIS gGmbH) in Erfurt präpariert. Hierzu zählen universal einsetzbare Chips mit geschlossener Vollbrücke sowie Chips mit offener Halbbrücke und speziell für die Zwei-Komponenten-Kraftmessung angepasste Dehnmess Elemente mit offenen Vollbrücken. Zur Kompensation des Querefekts durch Temperaturschwankungen während des Betriebs sind Widerstandsgebiete zur Temperaturerfassung integriert.

Für den Entwurf des Verformungskörpers wurden diverse Topologien untersucht, die zur Integration in die Instrumentenspitze eines laparoskopischen Instruments geeignet sind. Auf Basis von analytischen Berechnungen und diese ergänzenden FE-Simulationen in Ansys bzw. Pro Mechanica wurden die Strukturen hinsichtlich der erforderlichen Nenndehnung ausgelegt. Abb. 4.46 zeigt das Gesamtkonzept der in die Instrumentenspitze integrierten Kraftsensorik sowie eines optimierten Verformungskörper für die Messung dreier Kraftkomponenten in einer feinwerktechnischen Realisierung aus Stahl.

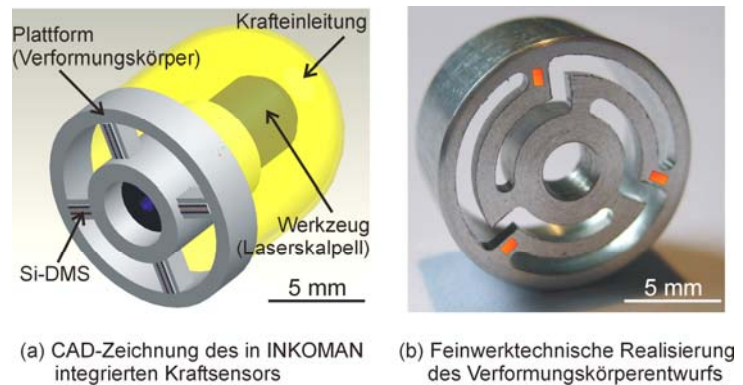


Abb. 4.46: Intrakorporaler Mehrkomponenten-Kraftsensor.

Ausblick

Ein Funktionsmuster des Drei-Komponenten-Sensors wird derzeit aufgebaut und messtechnisch charakterisiert. Neben der Präparation der Sensoren und der statischen Kennlinienaufnahme bildet deren dynamische Charakterisierung einen Schwerpunkt der Arbeit.

♦ Haptisches Bedienelement für die minimalinvasive Chirurgie

Bearbeiter: Sebastian Kassner, Arbeitsgruppe Prof. Werthschützky

Bearbeitungszeitraum: 01.08.2007 - 31.07.2010

Aufgabenstellung

Ein wesentlicher Nachteil in der minimalinvasiven Chirurgie (MIC) liegt im eingeschränkten Tastgefühl, das der Chirurg vom operierten Gewebe erlangt. Ursache hierfür sind Reibkräfte bis zu 3 N am „Trokar“, der Schleuse durch die das Operationswerkzeug in den Bauchraum des Patienten geführt wird. Auch die Masse des Instrumentes und dessen mechanisches Spiel schränken den Krafteindruck weiter ein.

Aus diesem Grund wird im Rahmen des Forschungsprojektes INKOMAN ein haptisches Bedienelement für die MIC entwickelt, das diesen Nachteil aufhebt und dem operierenden Arzt eine aktive Kraftrückmeldung zur Verfügung stellt. Grundlage für die Kraftrückmeldung bildet eine intrakorporale Kraftmessung an der Spitze des INKOMAN-Instrumentes.

Tabelle 4.6 fasst die wichtigsten Anforderungen an das haptische Bedienelement zusammen.

Tabelle 4.6: Zusammenstellung ausgewählter Anforderungen

Bezeichnung	Wert
Bedienung	intuitiv, mit einer Hand
zu steuernde Kinematik an der Instrumentenspitze	Struktur mit 4 Freiheitsgraden
Intensität des haptischen Feedbacks	$F \leq 5 \text{ N}$
Grenzfrequenz des haptischen Feedbacks	$f_g \leq 400 \text{ Hz}$

INKOMAN wird über einen Zeitraum von mehreren Stunden vom Arzt gehalten. Daher wird das haptische Bedienelement in Richtung Gewichtsreduzierung entwickelt.

Entwicklung des Bedienkonzeptes

Entscheidend für den Einsatz von INKOMAN ist die Entwicklung eines Bedienkonzeptes, das es dem Bediener ermöglicht, die komplexen Bewegungen einer intrakorporalen 4-DOF-Kinematik intuitiv mit einer Hand zu steuern. Hierzu entstehen zwei Prototypen von Bedienelementen ohne haptische Rückmeldung. Zentrales Steuerelement ist jeweils ein Joystick, der die Steuerung von drei bzw. zwei Freiheitsgraden ermöglicht (Abb. 4.47). Das Konzept mit zwei Freiheitsgraden wurde bereits im Tierversuch am Schwein erfolgreich zur Steuerung des INKOMAN-Protoypen eingesetzt.



Abb. 4.47: Bedienelemente für das laparoskopische MIC-Instrument mit drei (links) und zwei Bewegungsfreiheitsgraden (rechts) in einem Joystick zusammengeführt

Forschungsschwerpunkte und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsprojektes werden drei Schwerpunkte bearbeitet:

Herausforderung auf dem Gebiet der *Aktorik* ist der Einsatz eines Antriebs, der die erforderlichen Kräfte für die haptische Wahrnehmung zur Verfügung stellt. Gleichzeitig muss der Antrieb leicht genug sein, um in ein tragbares Gerät integriert werden zu können. Hierzu werden neuartige Antriebe, wie beispielsweise piezoelektrische Wanderwellenmotoren, analysiert und getestet. Abhängig vom ausgewählten Antriebskonzept wird das Bedienelement dann als impedanz- oder admittanz-geregeltes System entworfen.

Zur Übertragung des haptischen Feedbacks von den Motoren auf die Hand des Chirurgen wird eine angepasste *Kinematik* entwickelt. Hier stehen besonders parallelkinematische Lösungen im Fokus der Forschung.

Die Grundlage der Entwicklungen bildet das *mechanische Übertragungsverhalten der Leber*. Abb. 4.48 zeigt exemplarisch die messtechnisch bestimmte mechanische Impedanz der Leber im Frequenzbereich $10 \dots 10^4$ Hz (siehe Kapitel 8, [8/2008]). Diese Ergebnisse fließen in den Entwurf des Bedienelements auf Basis der am Institut entwickelten FIP-Methode (siehe Kapitel 8; [3]) ein. Damit erfolgt die Entwicklung des haptischen Bedienelements, welches an die frequenzabhängige Wahrnehmung angepasst ist.

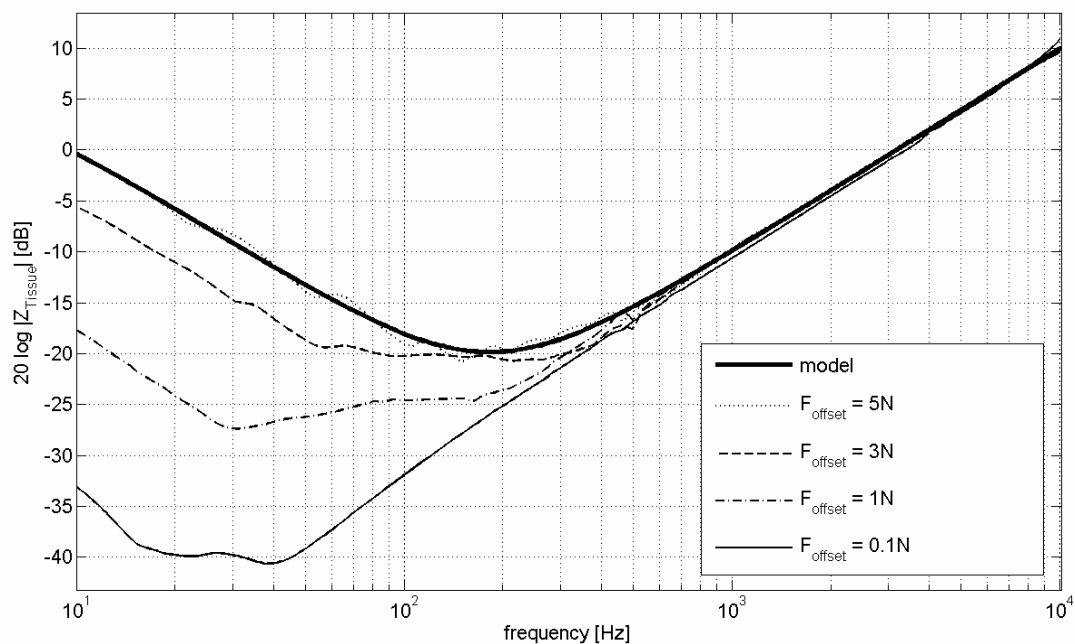


Abb. 4.48: Messtechnisch bestimmte mechanische Impedanz von Lebergewebe

4.4 Fachgebiet Lichttechnik

4.4.1 Übersicht

Nach dem Dienstantritt von Prof. Khanh am 01.10.2006 entwickelte sich das Fachgebiet Lichttechnik innerhalb von zwei Jahren (2006 bis 2008) zu einer international und national anerkannten Forschungsstelle für die automobilen Lichttechnik sowie zu einem optischen Forschungszentrum für die Leuchtenindustrie. In den letzten zwei Jahren gab es drei Haupttendenzen, die das Handeln des Lehrstuhls wesentlich bestimmten und weiterhin bestimmen werden:

- 1) Die intensive gesellschaftliche Diskussion über Klimawandel und Umweltverschmutzung fordert Konsequenzen bei Energieeinsparung und Energieeffizienzsteigerung. Deutschland spielt hier innerhalb der Europäischen Gemeinschaft mit den neuen Technologien der Beleuchtungstechnik eine wichtige Rolle bei der Erfüllung des Kyoto-Protokolls.
- 2) Mehr als 100 Jahre nach der Entwicklung der Glühlampe durch T. Edison und mehr als 50 Jahren nach der Entwicklung von Entladungslampen stehen die Beleuchtungstechnik und die Photonik an der Schwelle einer neuen Revolution. Die LED-Technologie, mit allen Vorzügen eines Halbleiterbauelements, hat nach kurzer Zeit eine Lichtausbeute von mehr als 80 lm/W erreicht und findet somit sicher den Weg zur Kfz-Lichttechnik und Außenbeleuchtung.
- 3) Zur drastischen Reduzierung der Verkehrsunfälle bei Nacht reicht es nicht mehr aus, nur Scheinwerfer mit hoher Lichtstrommenge zu entwickeln. Viel mehr müssen intelligente Scheinwerfer- und Heckleuchtsysteme entwickelt werden, die sich in der Lichtverteilung und Lichtstärke abhängig von der aktuellen Verkehrssituation adaptiv einstellen. Zu den dazu notwendigen intelligenten Steuerungssystemen gehören Sensorsysteme (CCD, CMOS, Radar, thermische Sensoren wie Bolometer...), Displaysysteme und die LED-Technologie.

Von Anfang an behält das Fachgebiet diese drei Strömungen im Auge und entwickelt dementsprechend die Arbeitskonzepte, wobei eine sehr enge Zusammenarbeit und eine intensive Diskussion mit der Industrie im Vordergrund stehen. Zur Konzeptionierung und Umsetzung der Arbeitsschritte verfolgt das Fachgebiet konsequent die folgenden Ziele. Demnach soll eine moderne Ausbildungsstätte:

- die Nähe zur Industrie suchen und seine Lehrprogramme mit der Industrie abstimmen,
- innovative Studienmodelle entwickeln, wobei verschiedene Lehrgebiete integriert werden,
- ein modernes Weiterbildungsangebot ausarbeiten, das universell und photonisch orientiert ist,
- und ein breites Dienstleistungsangebot anbieten, das sich von der Beratung, über Mess- und Entwicklungsdienstleistungen, bis hin zur Entwicklungs- und Forschungsplanung erstreckt. Es soll dabei den Charakter eines Kompetenzzentrums haben. Darauf werden mittel- und langfristige Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit der Industrie und anderen Forschungspartnern abgestimmt.

Von diesen grundsätzlichen Zielen ausgehend wurden während der letzten zwei Jahre in den Bereichen Lehre, Forschung und Entwicklung des Fachgebietes Lichttechnik vier große Schwerpunkte gebildet, die im Folgenden näher erläutert werden. Wichtig ist dabei, dass neben den Themen Verkehrs-/Kfz-Lichttechnik und Augenphysiologie/Farbwahrnehmung als traditionelle Forschungsgebiete der Lichttechnik in Darmstadt insbesondere die Bereiche der Optoelektronik (LEDs, Sensorik) und der Energieeffizienz hinzukommen.

- **Verkehrs- und Kfz-Lichttechnik**

Zum Ausbau des Know-hows werden aktuelle Themen in der Kfz-Lichttechnik wie beispielsweise LED-Scheinwerfer sowie deren Entwicklung und Bewertung, Fahrerassistenz-Systeme, Nighttime-driving, Head-up Displays, Sichtweitenverbesserung mit Infrarotkameras, Motorrad-Tagesfahrlicht usw. intensiv behandelt. Darüber hinaus kommt den Forschungsthemen im Bereich rund um die Wahrnehmung des Menschen in verschiedenen Verkehrssituationen große Bedeutung zu. Hierzu zählen insbesondere das mesopische Sehverhalten (Blickfeld, Blickverhalten der Autofahrer, spektrale Empfindlichkeitsverschiebung, Reaktionszeit, Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung in Abhängigkeit von der Lichtfarbe etc.) sowie die Blendungseigenschaften konventioneller und LED-integrierter Autoscheinwerfer und anderer Kfz-Lichtanlagen.

- **Optoelektronik - Technische Optik**

Im Bereich der Optoelektronik nehmen Leuchtdioden (LED) aufgrund ihrer ständig wachsenden Bedeutung als Lichtquelle der Zukunft in einer Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten eine zentrale Rolle ein. Neben den Grundlagen bei Strahlungserzeugung und Messtechnik für LEDs und OLEDs sowie der Untersuchung der Ausführungsformen (Chip-on-Board etc.) sind die Entwicklung und Evaluie-

rung von LED-Modulen von zentraler Bedeutung in der Forschung des Fachgebietes. Die vielfältigen Anwendungsbereiche derartiger LED-Module erstrecken sich dabei von der Kfz-Lichttechnik über die Beleuchtungstechnik (z.B. LED-Leuchten für die Straßenbeleuchtung) bis hin zum optischen Gerätebau sowie der Medientechnik (Filmscanner, LED-Monitore und -Projektoren). Weitere Forschungsbereiche in der Optoelektronik am Fachgebiet Lichttechnik sind die Untersuchung des Alterungsverhaltens von LEDs in Autoscheinwerfern bei hoher Umgebungstemperatur, Untersuchungen zur Verbesserung der Farbwiedergabeeigenschaften von weißen LEDs und dem LED-Farbgamut für die Displaytechnik.

Einen zweiten wichtigen Themenkomplex im Bereich Optoelektronik und Technische Optik wird die Optische Radiometrie (UV-VIS-IR-Spektralbereich) bilden, die sich mit der Messtechnik von spektralen Strahldichten, Bestrahlungsstärken sowie Strahlungsleistungen im Bereich von 250 nm bis 900 nm befasst. In dem Forschungs- und Entwicklungsbereich der Optischen Strahlungsanwendung fällt auch die Entwicklung von UV-Wasserentkeimungsanlagen, die zu einem wichtigen Bestandteil im Fachgebiet geworden ist.

Einen dritten Themenkomplex in der Technischen Optik bilden die Simulation und das Design von optischen und beleuchtungstechnischen Systemen (z.B. Leuchten und Scheinwerfer).

- **Augenphysiologie - Farbwahrnehmung**

Die Untersuchung der Physiologie des Sehens und die Erforschung der Farbwahrnehmung bilden neben der Verkehrs- und Kfz-Lichttechnik einen Forschungsschwerpunkt, der sich bis an die Anfänge der Lichttechnik in Darmstadt vor nunmehr 50 Jahren zurückverfolgen lässt. Dementsprechend umfangreich ist hier das über die Jahrzehnte gewachsene Fachwissen. So werden auch in Zukunft Fragestellungen wie beispielsweise der Einfluss von Blendung auf die Wahrnehmung und die spektrale Empfindlichkeit des Auges bei verschiedenen Adaptationszuständen (Tag, Dämmerung, Nacht) eine dominierende Rolle in der Forschung und Lehre des Fachgebietes Lichttechnik spielen.

Hierzu zählen auch die Untersuchungen von Einflüssen unterschiedlicher Lampenspektren auf das Kontrastverhalten und somit auf die Straßenverkehrssicherheit, die wahrnehmungsgerechte Lichtmesstechnik im mesopischen Bereich, aber auch praktische Versuche zum Test der Modelle zur Bestimmung von äquivalenten Leuchtdichten im mesopischen Bereich. Beachtung finden ebenso weitere Bereiche der Grundlagenforschung, wie z.B. die Erforschung der Farbdifferenzwahrnehmung und Farbwahrnehmung bei unterschiedlichen Leuchtdichten des Sehobjektes, bei unterschiedlichen Lampenspektren

(chromatische Adaptation) und bei strukturlosen- sowie strukturbetahteten Objekten.

Von zentraler Bedeutung und von hohem Nutzen für die Entwicklung von LED-Innenraumleuchten sowie neuen Entladungslampen ist die Forschung zur Neudefinition der Farbwiedergabeindizes, die am Fachgebiet zurzeit intensiv durchgeführt wird und das große Interesse der großen Lampenfirmen gefunden hat.

- **Energieeffizienz**

Das Bewusstsein zur Energieeffizienzsteigerung ist in den letzten Jahren außerordentlich ausgeprägt in der kommunalen Stadtbeleuchtung (Straßenbeleuchtung) und in der automobilen Lichttechnik. Das Fachgebiet Lichttechnik gestaltet das internationale und nationale Geschehen auf diesem Gebiet maßgebend und aktiv. Dies äußert sich in folgenden Arbeiten:

- Entwicklung des Energiesparkonzepts zur öffentlichen Beleuchtung in der Stadt Darmstadt
- Untersuchung der Energieeinsparpotentiale durch Feldtests in zwei Städten
- Analyse der Energiesparpotentiale und Untersuchung des Energienutzungsverhaltens in den zwei Städten Wiesbaden und Mainz
- Auftritt als Key-Note Speaker oder Diskussionsleiter zu den Energiethemen auf den wichtigsten Tagungen zur Straßenbeleuchtung und LED-Technologie
- Interviews in den meisten großen deutschen Zeitungen über die Energiesparpotentiale in der öffentlichen Beleuchtung (Berliner Morgenpost, die Welt, Frankfurter Rundschau, Frankfurter Allgemeine...) um die Kommunen, Institutionen und private Verbraucher auf ein neues Energienutzungsverhalten vorzubereiten. Das ist mindestens genau so wichtig wie eine technologische Vorbereitung.

Eine thematische Überschneidung zwischen den vier aufgeführten Schwerpunktthemen ist dabei erwünscht und führt zu Synergieeffekten. Um die Tätigkeiten am Fachgebiet durch eine entsprechende Mess- und Gerätetechnik zu unterstützen, wird das bestehende Lichtmesslabor modernisiert und erweitert. Im Lehr- und Weiterbildungsangebot wird mittelfristig ein breites Spektrum an Praktika im Labor angeboten werden, damit die Studierenden und die externen Teilnehmer aus der Industrie die Eigenschaften lichttechnischer Bauelemente und Systeme frühzeitig anhand konkreter Versuche kennen lernen können. Das Lichtmesslabor mit den regelmäßig gewarteten und genau kalibrierten Messgeräten ist ein Dienstleistungs- und Beratungszentrum für die lichttechnisch-optische sowie kino- und fernsehtech-

nische Industrie. Es bildet die Grundlage für eine zeiteffiziente und hochqualitative Entwicklung von Lichtprodukten.

Mit der Verfolgung und Realisierung dieser o.g. Ziele wurde erreicht, dass Fachgebiet Lichttechnik an der TU Darmstadt nach einem Zeitraum von nur 2 Jahren sowohl in der Industrie, in der internationalen Forschungslandschaft als auch universitätsweit als ein optoelektronisch-photonisch, wahrnehmungstechnisch orientiertes, industrienahes und für die Universität aktives Fachgebiet wahrgenommen wird.

♦ Entwicklung und Untersuchung neuer adaptiver Kfz-Scheinwerfer-Systeme unter Berücksichtigung physiologischer, psychologischer und technischer Gesichtspunkte

Bearbeiter: Andreas Groh

Bearbeitungszeitraum: 01.05.2008 - 31.05.2011

Durch die Einführung der ECE Regelung Nr. 123 "Adaptive Frontbeleuchtungssysteme (AFS)" im Februar 2007 ist es möglich, unterschiedliche an die Verkehrssituation angepasste Lichtverteilungen zu erzeugen. Eine der Erwartungen, die an solche adaptiven Lichtverteilungen gestellt werden, ist die Erhöhung der Verkehrssicherheit bei Nacht. Da gerade hier das Gefahrenpotenzial zum Beispiel durch eine geringere Sichtweite deutlich erhöht ist.

Untersucht werden sollen Möglichkeiten der Erzeugung variabler adaptiver Lichtverteilungen, die über die zurzeit gesetzlich möglichen Lichtverteilungen hinausgehen. Mit diesen Erkenntnissen soll ein Kfz-Scheinwerfer basierend auf modernster LED-Technologie untersucht werden. Notwendig für die Entwicklung eines solchen Scheinwerfers sind die Auslegung der Beleuchtungseinheit und der Ansteuerelektronik sowie die Auslegung der Optik und das bedingt durch die LED-Technologie zwingend notwendige thermische Management (Abb. 4.49).

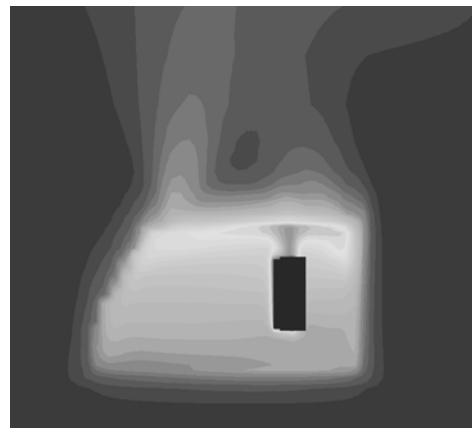


Abb. 4.49: Thermische Simulation eines LED-Frontscheinwerfers

Mit diesem Prinzip sollen im Anschluss verschiedene Lichtverteilungen auf ihre physiologischen und psychologischen Aspekte mittels Probandenversuchen untersucht werden. Ein besonderes Augenmerk soll hierbei auf Faktoren gelegt werden, welche die Verkehrssicherheit in der Nacht weiter erhöhen können. Diese sind zum Beispiel die Blendung des Gegenverkehrs, die Sichtweite, die Sichtbarkeit oder die Auffälligkeit des eigenen Fahrzeugs.

♦ Entwicklung von Anforderungen an neue adaptive Scheinwerfersysteme mit Rücksicht auf die physiologischen und gesetzlichen Aspekte

Bearbeiter: Jan Holger Sprute

Bearbeitungszeitraum: 01.06.2006 - 30.04.2009

Die Erhöhung der Sicherheit im Individualverkehr ist seit jeher ein Bestreben aller beteiligten Institutionen und Industrien. Einen großen Anteil daran, dass die Anzahl der Verkehrstoten einen historischen Tiefstand erreicht hat, haben elektronische Fahrerassistenzsysteme, die die aktive Sicherheit des Fahrzeugs erhöhen. Gerade in der Nacht ist jedoch das Gefahrenpotenzial deutlich erhöht, was zum großen Teil auf reduzierte Sichtweite und Sichtbarkeit zurückzuführen ist.

Mit dem Einzug des Adaptive Frontlighting System („Kurvenlicht“, Abbiegelicht, Autobahnlicht) hat diese Entwicklung auch zu Verbesserungen im für den Fahrer wichtigsten Bereich, der Sicht, Einzug gehalten. Die Möglichkeiten, die neuartige, bildverarbeitungsgestützte Systeme zur Steuerung der Lichtverteilung von Scheinwerfern bieten, gilt es zu erforschen. Der Schwerpunkt liegt zurzeit auf der Entwicklung von automatischen Fernlichtsystemen mit variabler Lichtverteilung, die andere Verkehrsteilnehmer entblenden, während für den Fahrer in freien Bereichen die größtmögliche Sichtbarkeitsweite erhalten bleibt (Abb. 4.50).



Abb. 4.50: Physiologische Versuche am Flughafen Griesheim

Neben der zu erwartenden Erhöhung der Sicherheit für den Fahrer, Fußgänger und Tiere sind auch mögliche Risiken hinsichtlich Blendung, Fehlfunktionen und Fehlbildungen zu erforschen. Aus den ermittelten Daten können dann Empfehlungen für Politik und Hersteller der Systeme abgeleitet werden.

♦ Fortgeschrittene mesopische Lichtmesstechnik

Bearbeiter: Ass.-Prof. Dr. Peter Bodrogi

Bearbeitungszeitraum: 01.02.2008 - 31.07.2009

In diesem Forschungsprojekt wird die menschliche Sehleistung im Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Darmstadt (FGLT) untersucht, mit dem Ziel, eine fortgeschrittene mesopische Lichtmesstechnik zu entwickeln. Mesopie bedeutet den visuellen Adaptationsbereich des Dämmerungssehens, d.h. Leuchtdichteniveaus zwischen ca. 0,01 und 3 cd/m², wo beide Rezeptortypen, d.h. sowohl die Zapfen als

auch die Stäbchen aktiv sind. In den heutigen Modellen werden ihre Wechselwirkungen nicht genau berücksichtigt, z.B. Detektionsschwellen werden ohne chromatische Signale berechnet, die der wahren retinalen Verarbeitung nicht entspricht.

Dementsprechend wird derzeit im FGLT an den folgenden Aspekten der mesopischen Sehleistung sowie der mesopischen Helligkeitsempfindung gearbeitet:

1. Netzhautposition des Sehobjektes
2. Leuchtdichteniveau und Farbart vom Hintergrund
3. Verschiedenartigkeit der Testpersonen
4. Effekt der räumlichen Lichtverteilung
5. Pupillengröße und Adaptationssignal

Die neue Lichtmesstechnik basiert direkt auf den Signalen der 4 Rezeptortypen (L-, M-, und S-Zapfen sowie die Stäbchen V'). Von diesen LMSV'-Signalen werden im neuen mesopischen Helligkeits- und Sehleistungsmodell die Detektionswahrscheinlichkeit D sowie die mesopische Helligkeitsempfindung Q berechnet, mit Hilfe plausibler retinaler und post-retinaler Mechanismen, und deren Adaptationsverhalten.

Im Gegensatz zur Sehleistung, wo die Objektleuchtdichten oft an der Detektionsschwelle liegen, bezieht sich die Helligkeitsempfindung auf einen langen, oft behaglichen Beobachtungsvorgang (z.B. nächtliches Schaufensterschauen) wobei die langwierige Interpretation, Durchsuchen, oder Betrachten überschwelliger Objekte im Vordergrund steht. Abb. 4.51. veranschaulicht den Unterschied zwischen den Begriffen Helligkeitsempfindung und Sehobjektdetektion.



Abb. 4.51: Helligkeitsempfindung (links, Sehaufgabe: Betrachten der ganzen Szene) und Sehobjektdetektion (rechts, Sehaufgabe: Wahrnehmung des Sehobjektes bei der Beobachtungsschwelle; hier: graues kreisförmiges Sehobjekt auf dem Stativ).

◆ Untersuchungen zur Erweiterung der Farbwiedergabeindex-Definition auf neuartige Lichtquellen

Bearbeiter: Stefan Brückner

Bearbeitungszeitraum: 01.10.2008 - 30.09.2010

Die Fähigkeit einer Lichtquelle, mit ihr beleuchtete Farben natürlich und unverfälscht erscheinen zu lassen, bezeichnet man als Farbwiedergabe. Zur quantitativen Kennzeichnung von Lichtquellen wurde 1965 der Farbwiedergabeindex eingeführt. Das zugrundeliegende Berechnungsmodell steht derzeit jedoch in Diskussion, da der damit berechnete Farbwiedergabeindex, insbesondere bei LED-Beleuchtung, nicht mit den visuellen Erscheinungen der Farben übereinstimmt. Den Kern des Berechnungsmodells stellt die Bewertung von Farbunterschieden bei Beleuchtung mit verschiedenen Lichtquellen dar.

Mit Hilfe von visuellen Tests sollen die Differenzen zwischen den durch Probanden wahrgenommenen und den durch verschiedene Farbwahrnehmungsmodelle berechneten Farbunterschieden untersucht werden.

Als weiterer wichtiger Punkt soll die individuelle Farbwahrnehmung und die dabei auftretende interpersonelle Streuung betrachtet werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Unterschiede in der Wahrnehmung des physikalisch gleichen Farbreizes zwischen verschiedenen Personen nicht zu vernachlässigen sind (siehe Abb. 4.52). So verursachen manche Lichtquellen durch ihre spektrale Zusammensetzung stärkere interpersonelle Streuung als andere. Mit diesem Wissen können Lichtquellen so ausgewählt werden, dass die beleuchteten Objekte von allen Personen möglichst gleich wahrgenommen werden.

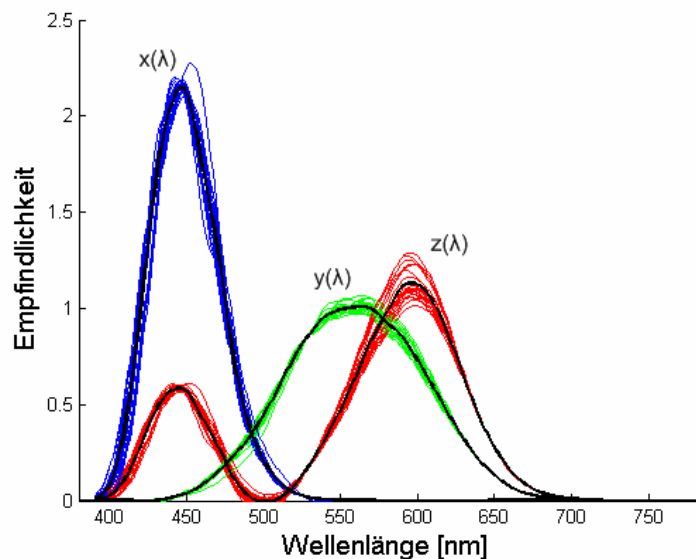


Abb. 4.52: Empfindlichkeitsfunktionen verschiedener Testpersonen, in schwarz sind die durchschnittlichen Funktionen dargestellt.

♦ Untersuchung der „Auffälligkeit“

Bearbeiter: Nils Haferkemper

Bearbeitungszeitraum: 01.5.2008 – 30.09.2009

Die Auffälligkeit von Objekten spielt im alltäglichen Sehen eine eminent große Rolle. Objekte, deren Helligkeit sich in einer beobachteten Szene nahe der Auffälligkeitsschwelle befindet, können nur mit eingeschränkter Wahrscheinlichkeit bzw. Sicherheit erkannt werden. In komplexen Situationen wie z.B. dem Führen eines Kfz hat man es mit einer Konkurrenz verschiedener Objekte bezüglich der Auffälligkeit zu tun. Die Auffälligkeit hat also neben dem menschlichen Wohlbefinden auch einen sehr großen sicherheitstechnischen Aspekt.

Prinzipiell geht es darum, die Funktionsweise der Auffälligkeit im visuellen System anhand mehrerer beispielhafter Testsituationen zu untersuchen.

Einen besonderen Schwerpunkt bildet dabei die Untersuchung des Dämmerungssehens. Die allgemeine Funktionsweise der menschlichen Wahrnehmung zwischen Tagessehen und Nachtsehen ist noch längst nicht ausreichend erforscht, wobei dieser Helligkeitsbereich doch bis zu 4 Stunden des täglichen Sehens ausmacht.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Auffälligkeit von Motorrädern im Straßenverkehr. Der Unfallstatistik nach ist in einem Drittel aller tödlichen Motorradunfälle

die Unfallursache das Nichterkennen des Zweirades durch einen PKW-Führer. Durch das Verstehen von Mechanismen besteht die Möglichkeit, die Auffälligkeit von Motorrädern durch lichttechnische Anbauten zu erhöhen und somit die Anzahl tödlicher Unfälle zu minimieren. Das Fachgebiet Lichttechnik ist in dieser Hinsicht in deutschen und europäischen Normungsgremien aktiv.



Abb. 4.53: Auffälligkeitsproblematik beim Erkennen eines Motorrades in klassischer Fahrsituation

♦ Visuelle Wahrnehmung des Menschen im mesopischen Bereich des Sehens (Dämmerungssehen)

Bearbeiter: Christoph Schiller

Bearbeitungszeitraum: 01.01.2007 – 31.12.2009

Viele Aufgaben der visuellen Wahrnehmung finden unter Bedingungen statt, die in der Helligkeit des Umfeldes (Adaptation) unter dem Niveau für das übliche Sehen bei Tage liegen. Der Straßenverkehr in den Dunkelstunden stellt das menschliche Auge durch einen großen Verlust an Sehleistung vor besonders große Herausforderungen. Abhilfe schafft hier sowohl die Frontbeleuchtung von Kraftfahrzeugen als auch die stationäre Straßenbeleuchtung.

Moderne Scheinwerfersysteme bei Kraftfahrzeugen nutzen Entladungslampen („Xenonlicht“). Diese erbringen im Vergleich zu bisherigen Halogenscheinwerfern einen deutlich nachweisbaren Vorteil durch eine Verbesserung der Sehleistung bei Nacht. Viele Verkehrsteilnehmer fühlen sich von Xenonscheinwerfern jedoch mehr geblendet. Bei in Zukunft verwendeten Frontscheinwerfern auf der Basis Licht emittierender Dioden (LED) wird eine ähnliche Tendenz befürchtet. Laboruntersuchungen haben bereits gezeigt, dass Lichtquellen mit einem erhöhten Blauanteil (erhöhte Farbtemperatur), was sowohl für Entladungslampen als auch LEDs gilt, bei gleich eingestellter Leuchtdichte einen größeren Helligkeitseindruck beim Menschen hervorrufen [SA 1657]. Diese Tatsache stellt unter energetischen Gesichtspunkten einen Vorteil der Lichtquellen mit höherer Farbtemperatur dar, da weniger Energie für eine identische Helligkeitswirkung benötigt wird.

Für eine vergleichende Beurteilung kompletter Scheinwerfersysteme reichen Labortests nicht aus. Deshalb wurden Testfahrten im realen Straßenverkehr und Untersuchungen unter Bedingungen, die dem alltäglichen Straßenverkehr sehr nahe kommen durchgeführt. Diese dienen dazu, die Eigenschaften der drei verschiedenen Scheinwerfersysteme mit Halogen-, Xenon- und LED-Lichtquellen grundlegend zu analysieren. Entscheidende Kriterien sind die subjektiv empfundene Blendung der getesteten Personen, die ermittelte durchschnittliche Sichtbarkeitsweite und die Ergebnisse aus den Befragungen von durchgeführten Fahrtests. Abb. 4.54 zeigt exemplarisch den Aufbau, mit dem die subjektiv empfundene Blendung durch Scheinwerfer des Gegenverkehrs am Außengelände der TU Darmstadt (Flugplatz in Griesheim) ermittelt wird.

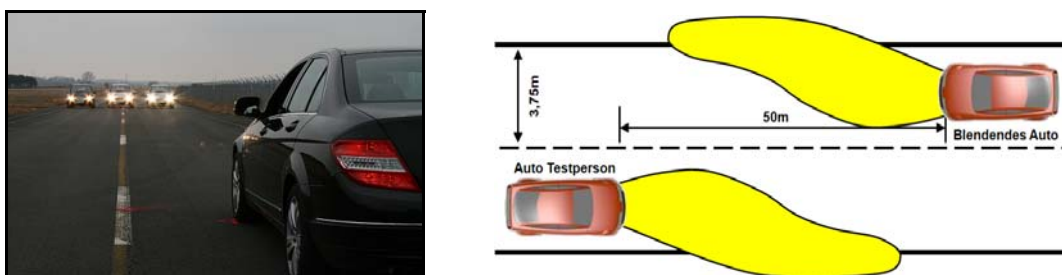


Abb. 4.54: Untersuchung der subjektiv empfundenen Blendung am Flugplatz in Griesheim

In innerstädtischen Bereichen ist die Dichte an sehr unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern besonders hoch. Da die Kraftfahrzeugbeleuchtung die Anforderungen des Stadtverkehrs nicht erfüllt, wird hier zusätzlich die stationäre Straßenbeleuchtung eingesetzt, um die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Erste durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass viele Verkehrsteilnehmer weißes Licht in der Straßenbeleuchtung bevorzugen. Dies ist auch aus physiologischer Sicht von Vorteil. Gegenüber dem weit verbreiteten gelben Licht von



Abb. 4.55: Straßenbeleuchtung - Links: Test zur Gesichtserkennung bei verschiedenen Lampentypen, Rechts: Die Leuchtdichtaufnahme zeigt die Lichtverschwendung der Straßenbeleuchtung an Hauswänden

Natriumdampflampen bietet weißes Licht deutliche Vorteile im seitlichen Erkennen, beispielsweise, wenn Fußgänger eine Straße überqueren möchten (Abb. 4.55, links). Das Ziel der Untersuchungen im Bereich der Straßenbeleuchtung besteht darin, eine geeignete Lichtquelle zu finden, die die visuelle Wahrnehmung des Menschen optimal unterstützt und dabei dennoch eine gute Effizienz zum Schutz der Umwelt aufweist (Abb. 4.55, rechts).

♦ Entwicklung einer Solarparkleuchte

Bearbeiter: Marvin Böll

Bearbeitungszeitraum: 01.08.2008 – 31.07.2009

Im Rahmen eines Industrieauftrages soll ein Funktionsmuster einer Leuchte entwickelt werden, die unabhängig vom öffentlichen Netz im sogenannten Inselbetrieb mit Hilfe von Solarenergie betrieben werden kann. Angestrebt ist eine ganzjährige Versorgung für den Standort Deutschland. Zusätzlich soll die Option bestehen bei Versorgungsengpässen vom Inselbetrieb in den Netzbetrieb umzuschalten.

Für die zu entwickelnde Solarleuchte ist vom Vertragspartner ein vergleichsweise kleiner Leuchtenlichtstrom von minimal 800 Lumen erwünscht. Somit werden es hauptsächlich Parkanlagen sein, welche mit der entstehenden Solarparkleuchte ausgestattet werden. Als Leuchtmittel sollen Hochleistungs- LEDs verwendet werden.

Da eine Versorgung im Inselbetrieb angestrebt wird, ist es wichtig energiesparende Komponenten zu verwenden. Des Weiteren ist zu überlegen, ob der Energieverbrauch durch eine intelligente Regelung des Lichtstroms optimiert werden kann. So besteht z.B. die Möglichkeit mit Hilfe eines Bewegungssensors in Abhängigkeit von der An- bzw. Abwesenheit von Personen die Leuchten zu dimmen bzw. hoch zu regeln. Abb. 4.56 zeigt ein mögliches Blockschaltbild der Solarparkleuchte.

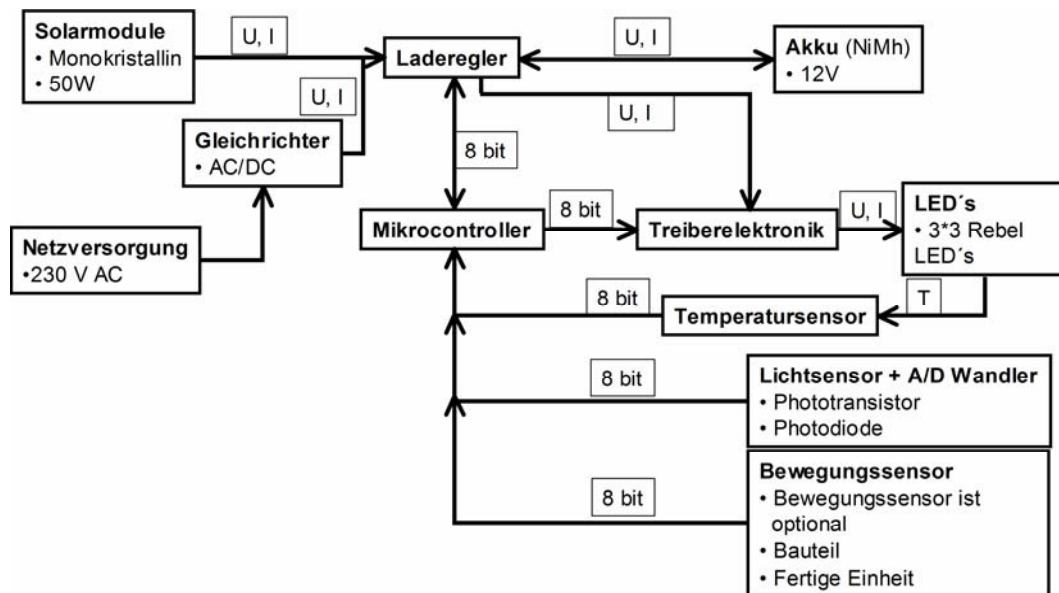


Abb. 4.56: Blockschaltbild der Solarparkleuchte

◆ Aspekte der LED-Straßenbeleuchtung

Bearbeiter: Thomas Kuhn

Bearbeitungszeitraum: 15.07.2008 bis 14.07.2011

Aufgabenstellung

Im Rahmen eines Forschungsprojekts soll die LED-Technik für die Straßenbeleuchtung im Bereich der Anliegerstraßen nutzbar gemacht werden. Anliegerstraßen stellen 60 bis 70 % aller beleuchteten Straßen in Deutschland dar. Die derzeit in diesem Bereich eingesetzten Leuchtmittel besitzen eine maximale Lichtausbeute von etwa 80 lm/W.

Neben der reinen Integration hocheffizienter LED-Technik zusammen mit dem optischen System in einer Straßenleuchte werden die Wahrnehmungsveränderungen bei den Verkehrsteilnehmern durch das neue Spektrum der LEDs überprüft. Darüber hinaus werden die Grundlagen überprüft, in wieweit die Norm DIN EN 13201 für die Straßenbeleuchtung und deren Bewertungsmaßstäbe tatsächlich den Anforderungen heutiger Verkehrssituationen entsprechen.

Die Untersuchungen zur Wahrnehmung erfolgen sowohl in Laborversuchen als auch in realen Teststraßen mit Probandengruppen.

Aktueller Stand des Projektes

Innerhalb einer Diplomarbeit [DA 1679] wurden die Anforderungen ermittelt, die für die lichttechnische Realsierung einer Straßenleuchte notwendig sind. Darüber hinaus wurde ein bestimmter LED-Typ ausgewählt, der für die zu entwickelnde LED-Leuchte eingesetzt werden kann. Reale Straßen wurden vermessen, um so eine Simulationsgrundlage für lichttechnische Bewertungen zur Verfügung zu stellen. Der Stand der Technik bereits bestehender LED-Leuchten wurde umfangreich analysiert.

Bis Ende 2008 wurde eine erste reale Teststraße mit bereits verfügbaren LED-Leuchten realisiert, um erste Wahrnehmungsuntersuchungen durchführen zu können (vgl. Abb. 4.57).



Abb. 4.57: Erste Teststrecke mit LED-Leuchten in Darmstadt

Weiteres Vorgehen

Aufbau der Technik, Vermessung des Beleuchtungsniveaus und Probandentests innerhalb der Teststrecke in Darmstadt werden durchgeführt und mit Simulationsergebnissen verglichen (vgl. Abb. 4.58).

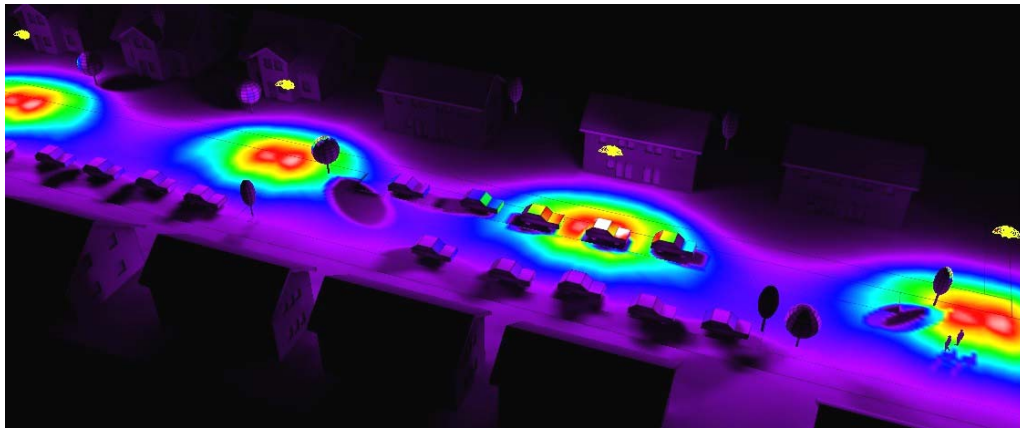


Abb. 4.58: Beispiel für eine Beleuchtungsstärkesimulation einer Teststrecke

Anschließend erfolgt die Untersuchung der LED-Straßenleuchte. Aufgabenfelder bei der Untersuchung sind die Optik, die Treiberelektronik samt den LED, sowie die Mechanik und das thermische Management.

◆ **Konzepte und industrienaher Realisierung von energieeffizienten und humanergonomischen LED-Innenraumleuchten**

Bearbeiter: Wjatscheslaw Kutschenko

Bearbeitungszeit: 01.06.2008 – 31.05.2011

Die lichtemittierenden Dioden (LED) vereinen in sich viele Eigenschaften, wie beispielsweise eine hohe Lichtausbeute oder die sehr lange Lebensdauer, die sie den konventionellen Leuchtmitteln gleichwertig oder in manchen Anwendungen sogar überlegen machen. Neben den Status- und Signalanzeigen hat die LED bereits in der Effekt- und Showbeleuchtung, sowie in den unterschiedlichen Kfz-Anwendungen einen festen Platz gefunden. Unter dem Aspekt der Energieeffizienz wird auch in der Straßenbeleuchtung immer mehr die LED als Lichtquelle eingesetzt.

In den letzten Jahren konzentrierte sich die Forschung aber nicht nur auf Steigerung der Lichtmenge und der Effizienz. Der Lichtqualität wird immer mehr Bedeutung beigemessen, so dass ein Einsatz von LEDs in der Innenraumbeleuchtung zunehmend interessant wird.

Das Ziel der Arbeit ist das Aufstellen eines Entwicklungsmusters für LED-basierte Leuchten, wobei elektrische, thermische und optische Eigenschaften der LEDs berücksichtigt werden. Damit soll zukünftig die Entwicklung der Lichtlösungen mit LEDs erleichtert und beschleunigt werden.

Neben der Erfüllung der technischen und funktionalen Regeln, Normen und Richtlinien, die es vor allem in der Büro- und Arbeitsstättenbeleuchtung gibt, geht es bei der Entwicklung einer LED-basierten Innenraumbeleuchtung auch darum, ein ästhetisches Umfeld zu schaffen, positive Stimmungen zu erzeugen und das Wohlbefinden

der Menschen zu fördern. Deshalb wird im Rahmen dieser Arbeit auch der Einfluss des Lichtes auf den Menschen, seine Gesundheit und sein Wohlbefinden berücksichtigt.

Dafür macht man sich die einfache Dimmbarkeit der lichtemittierenden Dioden und die sich daraus ergebenden Möglichkeiten der Farbmischung zu Nutze, die mit keinen bisher verwendeten Lichtquellen zu realisieren wäre. Es ist nun möglich, die Eigenschaften des emittierten Lichts der eigenen Stimmung und dem natürlichen Tagesablauf anzupassen. Die Anpassung an den Tagesablauf kann nicht nur bezüglich der Helligkeit erfolgen, wie es bereits durch moderne Lichtsteuersysteme realisiert wird, sondern auch in der Farbtemperatur, so dass die Beleuchtung ebenso natürlich im Innern wie im Freien wirkt. Des weiteren kann durch das Licht der Schlaf-Wach-Rhythmus beeinflusst werden, um beispielsweise in der Arbeitsstättenbeleuchtung die bei der Schichtarbeit durch die Störung des Biorhythmus entstehenden Probleme der Arbeiter zu mindern und auf diese Weise bessere Arbeitsbedingungen zu schaffen.

Die Leuchtenprototypen, die im Laufe der Arbeit entstehen sollen, müssen dabei höchsten Anforderungen bezüglich der Energieeffizienz genügen und sich in die üblichen Licht- und Gebäudesteuersysteme einbinden lassen.

5. Laboratorien und Ausrüstungen

Das Institut EMK verfügt über zahlreiche technische Ausrüstungen, die den mikro- und feinwerktechnischen Prototypenbau sowie deren messtechnische Untersuchung ermöglichen. Im Einzelnen stehen folgende Ausrüstungen und Messeinrichtungen zur Verfügung:

5.1 Reinraumlabor Mikrotechnik (Klasse 1000 bis 10000)

Das Reinraumlabor (Abb. 5.1) umfasst eine Fläche von 120 m² und besteht aus zwei Räumen mit je 60 m². Der erste Bereich dient der Photolithographie, Nassätztechnik und Galvanik-Beschichtung, im zweiten gegenüberliegenden Bereich sind die Anlagen zur Vakuumbeschichtung (Aufdampfen, Sputtern), die Trockenätzanlagen, die Aufbau- und Verbindungstechnik sowie Messmikroskope aufgestellt.

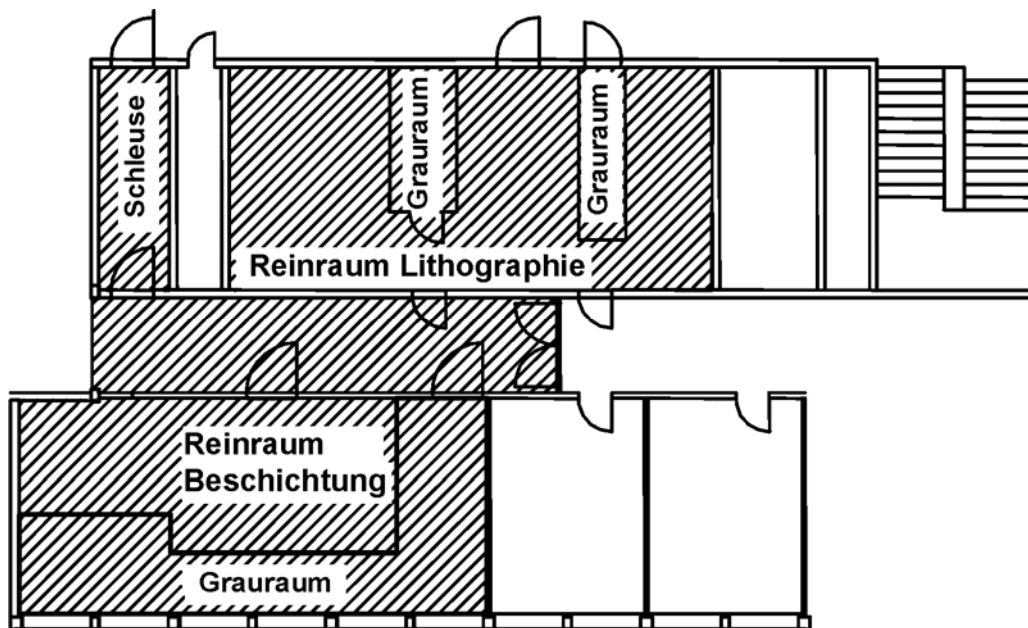


Abb. 5.1: Reinraum-Labor für Mikrotechnik (Grundriss, schematisch)

Nach den großen Investitionen, die 2004 und 2005 aus dem Innovationsfond des Landes finanziert wurden und aus Photoresist-Belackungsanlagen (Abb. 5.2), einem Oberflächen-Profilometer (Abb. 5.3), einer Aufdampfanlage (Abb. 5.4) sowie einer Mikrogalvanik-Anlage (Abb. 5.5) bestehen, sind weitere Ergänzungsinvestitionen aus laufenden Mitteln bzw. Projekten getätigt worden. Dazu zählen eine weitere Hotplate für die Tiefenlithographie, ein Dispergiergerät zur Auflösung von Nanopartikeln in Polymeren (Resisten, Elastomeren und Suspensionen) und eine Präzisions-Läpp- und Poliervorrichtung, um galvanische Mikrostrukturen zu planarisieren.

Auch weiterhin sind wir zur Vervollständigung der Laboreinrichtungen für Spenden oder kostengünstige Angebote sehr dankbar.

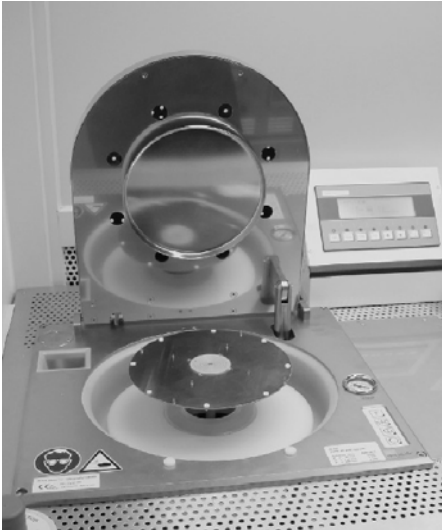


Abb. 5.2: Lackschleuder für SU-8, Lackschleuder mit Hotplate-Tisch

Im Reinraumlabor Mikrotechnik stehen folgende Geräte und Anlagen zur Verfügung:

- **Photolithographie**

- Ofen für HMDS-Haftvermittler (IMTEK)
- Spincoater mit rotierendem Deckel für Dickresiste (Süss MicroTec Delta 80 GYRSET), siehe Abb. 5.2
- Spincoater für Standardresiste (Sawatec SM180)
- Hotplates mit programmierbarem Temperaturprofil
- Mask-Aligner zur Kontakt- und Proximity-Belichtung (Süss MicroTec MA56)
- Megaschall-Entwicklungssystem (SONOSYS)
- Div. Tauchentwicklungsbecken für Positiv- und Negativresist
- Plasma-Verascher (Technics 300-E)



Abb. 5.3: Oberflächen-Profilometer, Interferenz-Spektrometer und Belichter



Abb. 5.4: Aufdampfanlage, Aufbau und Verbindungstechnik, Strukturweiten-Messung

- **Schichtabscheidung**

- Aufdampfanlage mit Widerstands- und Elektronenstrahlverdampfer, Diffusionspumpsystem (Balzers BAK 660), siehe Abb. 5.4
- Sputteranlage mit 4 Stationen, Turbopumpsystem (Alcatel SCM 600, im Aufbau)
- Mikrogalvanik-Anlage mit 2 Prozessbecken je 50 l Badvolumen (MOT), siehe Abb. 5.5

- **Nass- und Trockenätztechnik**

- temperierbare Ätzbecken
- Spülbecken, Rinser-Dryer, Trockenschrank
- Trockenätzanlagen: Parallelplatten-Reaktor und RIE-Anlage (beide Plasma Technology)

- **Aufbau- und Verbindungstechnik (Abb. 5.4)**

- Aluminium-Dünndraht-Handbonder (Dynapert, Model 5315)
- Die-Bonder zum Montieren von nackten Halbleiterchips direkt von der Folie (Cammax, DB-2)
- Drop-Dotter zum Aufbringen von Klebepunkten und Abdeckmassen für „Chip on Board“-Technologie (Cammax, GT2)
- Vakuumtrockenschrank, Vakuumofen mit Schutzgasen
- Präzisions-Läpp- und Poliermaschine (Logitech)



Abb. 5.5: Mikrogalvanik-Anlage

- **Inspektion und Qualitätssicherung**

- Oberflächenprofiler mit erweitertem Mess- und Scanbereich (Veeco DEKTAK 8), siehe Abb. 5.3
- Interferenz-Spektrometer zur Dickenbestimmung transparenter Schichten (Leitz MPV-SP), siehe Abb. 5.3
- Strukturweitenmesssystem (Leitz CD-2), siehe Abb. 5.4
- diverse optische Mikroskope incl. Bilderfassung
- Zug-Schertester (DAGE BT22)

5.2 Labor für dielektrische Polymeraktoren

Zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit und des Arbeitsschutzes werden die Forschungsarbeiten an dielektrischen Polymeraktoren im neuen Labor mit separatem Zu- und Abluftsystem durchgeführt. Die zweite vollautomatische Multilayer-Fertigungsanlage in einem modularen Konzept ist fertiggestellt worden und im Betrieb. Zur Ausrüstung der Multilayer-Technologie dielektrischer Polymeraktoren gehören:

- Fertigungsanlage für dielektrische Polymeraktoren - Typ I (bis zu 100 Schichten, Schichtdicke bis 25 μm , \varnothing 40 mm)
- Fertigungsanlage für dielektrische Polymeraktoren, - Typ II (bis zu 100 Schichten, Schichtdicken bis 10 μm , \varnothing bis zu 100 mm)
- Vakuumofen (BIOBLOCK 45004)

5.3 Klimatisierte Präzisionsmesslabore (Klasse 100 000)

- Rechnergestützter Messplatz zur hochgenauen Druckmessung
(Messbereich 10 Pa bis 100 kPa, Temperaturbereich -20 bis +150°C, Feuchtebereich 10 bis 90% r. F., Messunsicherheit 10^{-4})
- Lasertriangulator-Messsystem zur Oberflächenbeurteilung, Abstands- und Profilmessung
(Messbereich 820 μm bzw. 150 μm , Auflösung 2 μm bzw. 0,38 μm)
- Präzisionsspannungs- und -kapazitätсмessplatz
(Auflösung 1 μV bzw. 0,1 fF)
- Messplatz zur Charakterisierung von Piezo-Biegewandlern
(Kraft-Weg-Kennlinien)
- Kraftmessplatz zur statischen und dynamischen Charakterisierung von Kraftsensoren (Frequenzbereich bis 800 Hz, Nennkräfte bis 2,5 N)
- Optischer Messplatz mit faseroptischen Messgeräten
- Präparationsarbeitsplatz mit Laminar Flow-Box
- Motion-Analyzer für MEMS mit Hochgeschwindigkeits-CMOS-Kamera auf der Basis eines Waferprobers (Electroglass EG 2001X)
- Weißlicht-Interferometer mit Hochgeschwindigkeits-CMOS-Kamera

5.4 Weitere Präzisionsmessplätze

- Durchflussmessplatz
(Messbereich 1 bis 1000 l/h, Temperaturbereich 20 bis 80 °C, Messunsicherheit $2 \cdot 10^{-3}$)
- Rechnergestützter Höchstdruckmessplatz
(Messbereich 5 MPa bis 500 MPa, Messunsicherheit $< 10^{-3}$)
- Messplatz zur Bestimmung mechanischer Impedanz
(Frequenzbereich 0,1 Hz bis 30 kHz, Messbereich 0,1 Ns/m bis 1 kNs/m)
- Messplatz zur statischen und dynamischen Charakterisierung von dielektrischen Polymeraktoren mit 2 Laser-Triangulatoren

5.5 Haptik-Messplatz

- geregelte Kraftquelle (Frequenzbereich statisch bis 1 kHz, Amplitude bis 10 N, Auflösung 10 mN)
- rechnergesteuerter Messplatz mit Auswertung von Kraft, Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung (Frequenzbereich statisch bis 10 kHz)
- Impedanzmessplatz für Weichgewebe, Perfusionsmöglichkeit im Aufbau
- Ausstattung für parameterkontrollierte Probandenmessungen (akustische Abschottung, Temperaturregelung)

5.6 Chemielabor

- Arbeitsplätze mit Abzug und Anschluss an Neutralisationsanlage

5.7 Feinmechanische Werkstatt

Die feinmechanischen Werkstätten im Hans-Busch-Institut sind räumlich zusammengelegt und nach einer umfassenden Renovierung im Erdgeschoss sowie im 1. OG konzentriert. Am 10.04.2008 erfolgte die Einweihung in den renovierten Räumen.

- Dreh- und Fräsmaschinen
- CNC-Präzisionsdrehmaschine (Schaublin 102 CNC)
- Spezialwerkzeuge zur spanenden Feinstbearbeitung von Edelstählen
- Ultraschall- und Erodieranlage zur Strukturierung von Silizium und Glas
- Diamantsäge für Silizium- und Keramik-Wafer
- Nd:YAG-Laser (max. mittlere Ausgangsleistung 400 W) zum Trennen und Schweißen mit CAD-gesteuertem Präzisionsverfahrtisch (Raytheon)
- Präzisionsbearbeitungsplatz für die Mikrozerspanung
- Impulsschweißanlage (Messer Griesheim FP5)

5.8 Lichttechnisches Labor

Das lichttechnische Labor des Instituts umfasst eine Fläche von 225 m². Neben einer umfangreichen Ausstattung zur Messung aller gängigen lichttechnischen Größen und Charakterisierung von Oberflächen und transmittierenden Medien bietet der Laborbereich auch Räume zur Durchführung von physiologischen und psychophysischen Probandentests. Dies ist für die Forschung des Fachgebietes Lichttechnik von besonderer Bedeutung, das sich der Erforschung der Bedürfnisse und der Leistungsfähigkeit der menschlichen visuellen Wahrnehmung widmet.

Besondere Aufmerksamkeit erfahren in diesem Zusammenhang die Unterstützung der Kraftfahrer durch neue Ansätze in der Automobilbeleuchtung, das Dämmerungssehen im Allgemeinen sowie die Farbwahrnehmung des Menschen.



Abb. 5.6: Große Ulbrichtkugel (1,5m Radius)

Im lichttechnischen Labor stehen folgende klassischen Messgeräte zur Verfügung:

Integrale Messungen an LED, Lampen und Leuchten

Messgerät	Strahlungstechnische Messgröße
Ulbricht-Kugel (Durchmesser: 3 m)	Lichtstrom
Ulbricht-Kugel (Durchmesser: 1 m)	Lichtstrom
LED-Messplatz mit Ulbricht-Kugel und Peltierkühlsystem	Lichtstrom und Strahlungsleistung von Hochleistungs-LED bei gezielter Variation der Substrattemperatur
Goniophotometer für Leuchten	Lichtstärke bzw. Lichtstärkeverteilungen von Innenraum- und Straßenleuchten
Goniophotometer für Kfz-Leuchten	Lichtstärke bzw. Lichtstärkeverteilungen von Kfz-Leuchten
Beleuchtungsstärkemessgeräte	Beleuchtungsstärke
Leuchtdichtemessgerät	Leuchtdichte
CCD-Leuchtdichtekamera	Ortsaufgelöste Leuchtdichte (Bildgröße: 1379 Pixel x 1032 Pixel)
Dreibereichsfarbmessgeräte	Farbtemperatur, Farbmaßzahlen

Des Weiteren nimmt die Entwicklung neuer Applikationen der LED-Technik einen weiten Raum ein. Dazu wurden richtungsweisende Messaufbauten selbst entwickelt, mit denen die Hochleistungs-LEDs und deren Treiberschaltungen auch in den Grenzbereichen der Schaltfrequenzen, Betriebstemperaturen und Stromstärken zuverlässig vermessen werden können (Abb. 5.7).



Abb. 5.7: Entwicklung neuer Messtechnik

Derzeit ist die Erweiterung und Modernisierung der Räume geplant, in deren Zuge auch die Gebäudetechnik inklusive der Klimatisierung erneuert werden soll. Weitere strategische Neuanschaffungen im Bereich der Fernfeld-Messtechnik und neue, innovative Eigenentwicklungen in der LED-Messtechnik sind derzeit geplant.

Spektrale Messungen an Leuchtmitteln

Messgerät	Strahlungstechnische Messgröße
Diodenzeilen-Spektralradiometer	Spektrale Bestrahlungsstärke im Bereich von 350 bis 850 nm
Spektraler LED-Messplatz	Spektrale Strahlstärke von Hochleistungs-LED für Messbedingungen A und B nach CIE 127,
Strahldichtekamera	Spektrale Strahldichte (380 nm bis 780 nm, 1 nm Auflösung)
Spektralmessplätze (250 nm bis 900 nm)	Spektrale Bestrahlungsstärke - von Hochleistungs-LED - für Messungen nach COLIPA
Farbmessplätze (Spektral- und Dreibereichsmessverfahren)	Farbtemperatur, Farbmaßzahlen und Farbwiedergabe

Messung von lichttechnischen Materialkennzahlen

Messgerät	Strahlungstechnische Messgröße
Reflexions- und Transmissionsmesseinrichtung	Reflexionsgrad, Grad der gestreuten Reflexion, Transmissionsgrad und Grad der gestr. Transmission nach DIN 5036
Rückstrahlmesseinrichtung	Rückstrahlwert und spezifischer Rückstrahlwert
Retroreflektometer	Leuchtdichtekoeffizienten von Fahrbahnmarkierungen und -oberflächen
Goniophotometer zur Bestimmung der Streulichtindikatrix	Reflexions- und Transmissions-Indikatrix für streuende Materialien

Messung an Strahlungsempfängern

Messgerät	Strahlungstechnische Messgröße
Spektralmessplatz	Spektrale Empfindlichkeit von Empfängern (250 nm bis 1050 nm)

Kalibrierungen

Referenzobjekt	Strahlungstechnische Messgröße
Lichtstärkenormal	Lichtstärke
Lichtstromnormal	Lichtstrom
Leuchtdichtenormal	Leuchtdichte
Reflexionsnormale	Spektrale Reflektionsfaktoren

5.9 August-Euler-Flugplatz

Ursprünglich war er der erste zivile Flugplatz in Deutschland. Der Flugpionier August Euler erhielt 1908 die erste offizielle Lizenz für das Flugfeld im Griesheimer Sand vor den Toren Darmstadts und bildete in der Folge viele Piloten dort aus.

Im Nachkriegsdeutschland wurde der Flughafen durch die amerikanische Armee militärisch genutzt, bevor die Universität das Gelände von der Bundesvermögensverwaltung erstand. Nach der Grundsanierung des Towergebäudes steht das 65 ha große Gelände seit August 2008 jenen Fachgebieten zur Forschung zur Verfügung, die sich an dessen Finanzierung beteiligt haben.

Da die Forschung des FG Lichttechnik einen großen Schwerpunkt in der Verkehrslichttechnik besitzt, sind Freifeldversuche unter kontrollierten Bedingungen uner-



Abb. 5.8: Testgelände August-Euler-Flugplatz

lässlich. Die Möglichkeiten, die sich nun am Flugplatz in Griesheim bieten, sind in Deutschlands Universitätslandschaft einmalig.

Neben der ca. 1,2 km langen Landebahn stehen der Taxiway sowie eine Dynamikfläche und weitere Flächen für realistische Fahrversuche unter reproduzierbaren Bedingungen zur Verfügung. Neben der Versuchsstrecke bietet das Gelände nach der Renovierung auch repräsentative Seminarräume und Büroflächen für die forschenden Fachgebiete mit allen Annehmlichkeiten.

6. Dissertationen

6.1 Einfluss der Gehäusung auf die Messunsicherheit von mikrogehäusten Drucksensoren mit piezoresistivem Messelement

Stefan Sindlinger

TU Darmstadt

Referent: Prof. Dr.-Ing. R. Werthschützky

Tag der Prüfung:

Koreferent: Prof. Dr.-Ing. J. Wilde

21. November 2007

Im Rahmen des Förderprojektes MATCH-Druck werden am Institut für Elektromechanische Konstruktionen der Technischen Universität Darmstadt gemeinsam mit Industriepartnern miniaturisierte Druck- und Differenzdrucksensoren auf Basis piezoresistiver Silizium-Messelemente entwickelt. Ziel des Projektes ist die Entwicklung von hermetisch gekapselten, ölfüllten Drucksensormodulen, die als OEM-Produkte in Geräte des Maschinen- und Anlagenbaus, der Prozesstechnik, des Fahrzeugbaus und der Gebäudemessstechnik sowie für Anwendungen in der Klimatechnik für Luftfahrzeuge integriert werden.

Diese Arbeit verfolgt die Ziele der Vervollkommnung der Aufbau- und Verbindungstechnik und die Optimierung des dynamischen Verhaltens am Beispiel der MATCH-Druck Sensoren. Ausgehend von der Ableitung eines geeigneten Entwurfsprozesses für miniaturisierte Drucksensoren werden Konzepte für Absolut-, Relativ und Differenzdrucksensoren abgeleitet (Abb. 6.1).

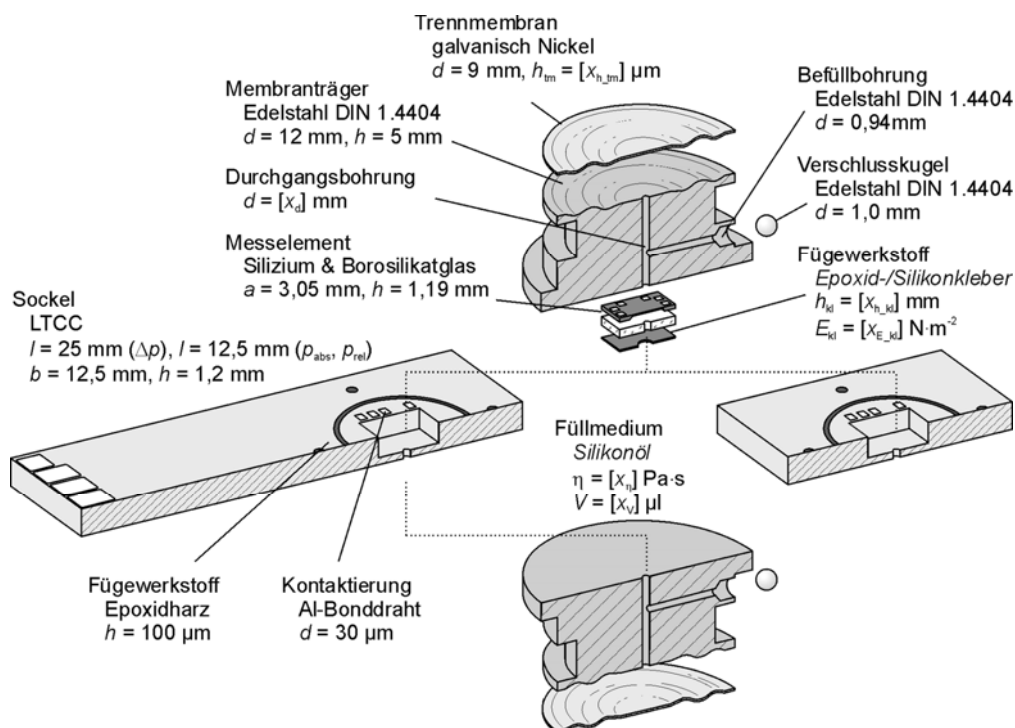


Abb. 6.1: Ergebnis des Entwurfs der MATCH-Druck Sensoren.

Die Sensoren bestehen aus einem piezoresistiven Silizium-Messelement, das auf einem LTC-Keramiksockel befestigt wird. Der Sockel trägt außerdem die elektrischen Kontakte sowie die Membranträger aus Edelstahl. Auf diesen befindet sich jeweils eine galvanisch abgeschiedene Trennmembran aus Nickel. Bohrungen im Inneren der Membranträger ermöglichen die Befüllung mit Silikonöl, welches zur Druckübertragung zwischen Trennmembran und Messplatte des Messelementes dient.

Mit Hilfe der Netzwerktheorie wird ein mathematisches Modell erstellt, das den Einfluss der geometrischen Parameter des Gehäuses und der Störgröße Temperatur auf das statische und insbesondere das dynamische Übertragungsverhalten erfasst. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchung der statischen und dynamischen Übertragungseigenschaften realisierter Experimentalmuster dienen als Ausgangsbasis und zur Verifikation des mathematischen Modells. Durch die Losgröße von etwa 100 Mustersensoren ist die statistische Sicherheit für die empirischen Untersuchungen gegeben. Abb. 6.2 zeigt einen Vergleich zwischen Simulation und Experiment sowie die realisierten Musteraufbauten.

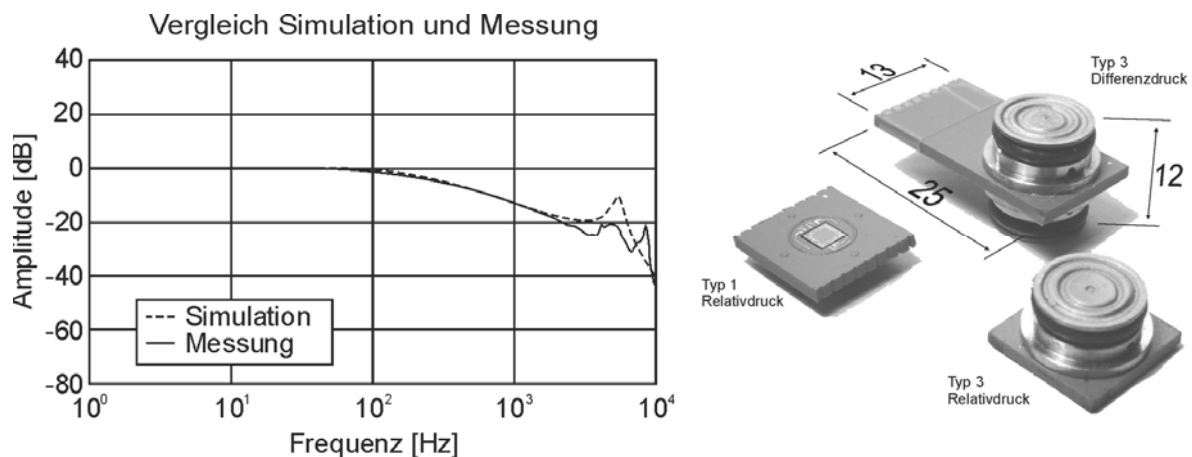


Abb. 6.2: Simuliertes und reales dynamisches Übertragungsverhalten und realisierte Musteraufbauten

Die Ergebnisse der Simulation und die experimentellen Untersuchungen der Musteraufbauten zeigen eine gute Übereinstimmung. Die Messergebnisse zeigen statistisch sichere Zusammenhänge zwischen Entwurfsparametern und Entwurfskenngrößen. Das entwickelte Netzwerkmodell ist geeignet, das dynamische Übertragungsverhalten von flüssigkeitsgefüllten Gehäusen für piezoresistive Druckmesselemente zu berechnen und die Entwurfsparameter entsprechend der vorgegebenen Optimierungszielstellungen zu definieren.

6.2 Entwurf und galvanotechnische Fertigung metallischer Trennmembranen für mediengetrennte piezoresistive Drucksensoren

Christian Wohlgemuth

TU Darmstadt

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. R. Werthschützky

Tag der Prüfung:

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. habil. G. Gerlach

07. März 2008

Zusammenfassung

Die Dissertation reiht sich in die Folge der Forschungsarbeiten zur Gehäusung und zum Entwurf von Drucksensoren mit piezoresistivem Messelement ein. Anstoß für die Untersuchungen gab das Verbundprojekt „Mikrogehäuste mediengetrennte Silizium-Druck- und Differenzdrucksensoren für industrielle Anwendungen (MATCH-DRUCK)“, das von 2002 bis 2005 vom BMBF gefördert wurde. Das Ziel des Verbundprojekts war die Miniaturisierung von piezoresistiven Drucksensoren mit höchster Medienresistenz unter Berücksichtigung neuer Fertigungstechniken für Sensorgehäuse und Trennmembran.

Die Grundlage für die Auslegung der Trennmembran bildet ein Modell der ölgefüllten Sensorzelle, das auf geometrischen und materialspezifischen Parametern beruht. Es ermöglicht das Druck- und Temperaturverhalten der Messzelle vorzuberechnen und die Anforderungen an das Auslenkungsverhalten der metallischen Trennmembran festzulegen. Die Auslegung der Trennmembran erfolgt mit einem Optimierungsverfahren auf Basis analytischer Gleichungen der Plattentheorie. Neben den Werkstoffeigenschaften werden die Geometrieparameter Radius, Dicke, Konusform und Wellenhöhe berücksichtigt. Zur Berechnung der akustischen Nachgiebigkeit der Trennmembran müssen die analytischen Ansätze erweitert werden. Grundlage der Erweiterung sind die Ergebnisse von FEM-Simulationen, die den für Trennmembranen notwendigen Gültigkeitsbereich abdecken. Mit Hilfe der nichtlinearen Regression werden aus den diskreten Simulationsergebnissen die Erweiterungen der analytischen Plattengleichungen abgeleitet. Die Grenze der Instabilität konischer Membranen wird eingehend untersucht. Abb. 6.3 zeigt zusammenfassend den Einfluss der Geometrie- und Materialparameter auf die Nachgiebigkeit der Trennmembran.

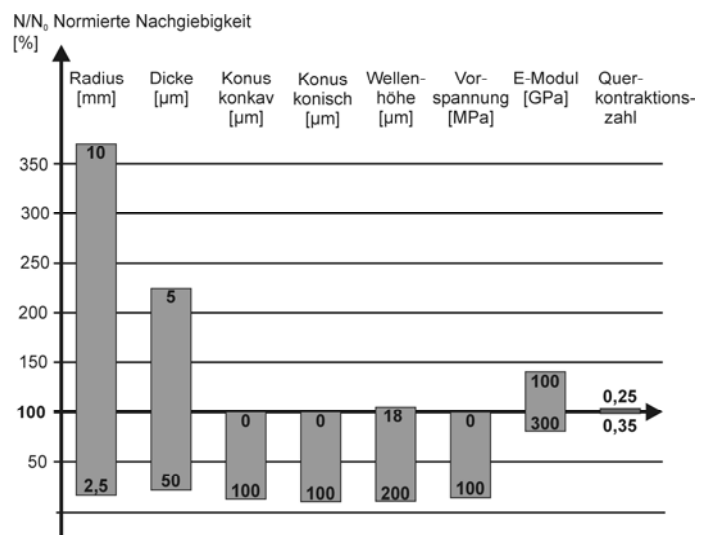


Abb. 6.3: Normierter Einfluss der Geometrie- und Werkstoffparameterparameter auf die Nachgiebigkeit der Trennmembran

Auf Grundlage dieser theoretischen Ansätze erfolgt der Entwurf von Trennmembranen, die mit einem neuartigen galvanotechnischen Fertigungsverfahren hergestellt werden. Zur stabilen Steuerung des galvanischen Prozesses werden die Einflussmöglichkeiten durch die Bad- und Prozessparameter auf die Niederschläge aus Nickelsulfamatelektrolyten eingehend untersucht. Dazu wird mit Hilfe der statistischen Versuchsplanung ein Modell der galvanischen Abscheidung entwickelt das den Einfluss von Badrezeptur, Stromdichte, Temperatur und pH-Wert auf die inneren Spannungen, Elastizitätsmodul und Hermetizität der Nickelschicht beschreiben. Die Messergebnisse werden mit Literaturwerten verglichen.

Das entwickelte Entwurfsverfahren für metallische Trennmembranen auf Basis analytischer Gleichungen wird durch Überprüfung mit FEM-Simulationen und Messergebnissen der galvanisch gefertigten Trennmembranen mit Abweichungen unter 5 % qualifiziert. Die im Verbundprojekt MATCH-DRUCK entwickelte Differenzdruckmesszelle ist in Abb. 6.4 dargestellt.

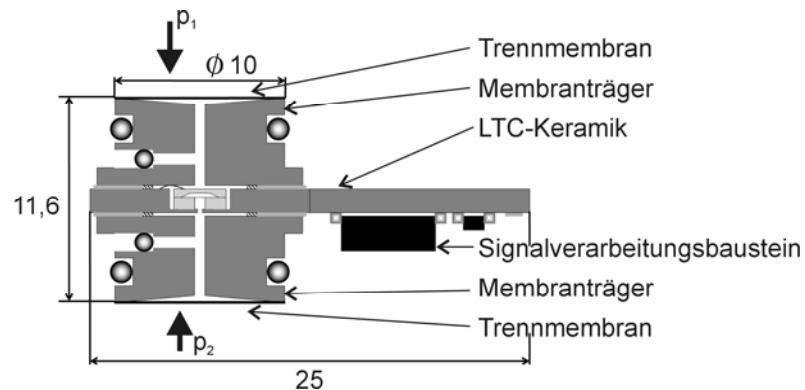


Abb. 6.4: Schnittbild eines Differenzdrucktransmitters, der im Verbundprojekt MATCH-DRUCK entwickelt wurde

Der Differenzdrucksensor weist ein piezoresistives Messelement auf. Das Sensorgehäuse ist aus einer Niedertemperatur-Sinterkeramik (LTCC) gefertigt. Sie ermöglicht durch ihren lagenweisen Aufbau die Integration von mechanischen Funktionen und die Kontaktierung elektronischer Bauelemente.

Die Signalverarbeitungselektronik ist in das Sensorgehäuse integriert. Die Druckeinkleitung erfolgt über eine galvanisch abgeschiedene Nickelmembran mit einem Durchmesser von 9 mm. Das eingeschlossene Silikonölvolumen beträgt ca. 15 μl . Das Bauvolumen des Differenzdruck-Messumformers beträgt 3,6 cm^3 .

Das Modell der ölgefüllten Druckmesszellen wird durch Messergebnisse an Sensoren aus dem Verbundprojekt MATCH-DRUCK mit einer Abweichung von unter 1 % bestätigt. Aufgebaute Sensoren mit einem Nenndruck von 0,1 MPa und einem temperaturkompensierten normierten Ausgangssignal von 0,5 bis 4,5 V erreichen eine Messunsicherheit, die im Temperaturbereich von -25°C bis $+85^\circ\text{C}$ unter 0,2 % liegt.

6.3 Entwurf und Realisierung eines Selbsttonometers zur kontaktlosen Augeninnendruckmessung als direkt gekoppeltes Sensor-Aktor-System

Thomas Weber

TU Darmstadt

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. R. Werthschützky

Tag der Prüfung :

Korreferenten: Prof. Dr.-Ing. U. Konigorski

27.06.2008

Prof. Dr. med. E. Rumberger

Das Glaukom, im Volksmund auch grüner Star genannt, stellt in den entwickelten Ländern nach Diabetes Mellitus die häufigste Erblindungsursache dar. Allein in Deutschland sind rund 1 Mio. Menschen an einem Glaukom erkrankt, d.h. die Sehnerven sterben sukzessive ab. Dieser irreversible Vorgang bleibt lange Zeit vom Betroffenen unbemerkt. Daher ist für jeden ab dem 40. Lebensjahr eine regelmäßige Vorsorgeuntersuchung unerlässlich.

Eine der häufigsten Ursachen für ein Glaukom stellt ein erhöhter Augeninnendruck dar, dessen Messung mittels der leicht durchzuführenden Tonometrie eine hohe Bedeutung besitzt. Das übergeordnete Ziel der o.g. Arbeit ist daher der Entwurf und die Realisierung eines vollautomatischen Selbsttonometers, mit dem Betroffene ihren Augeninnendruck mehrfach am Tag selbst bestimmen können.

Eine ausführliche Analyse und Bewertung des Stands der Technik und der Forschung zur stationären und mobilen Augeninnendruckmessung (Tonometrie) zeigt die Vorzüge des Verfahrens der Luft-Appplanationstonometrie auf, bei dem ein Luftstrahl die

Hornhaut des Auges verformt (Abb. 6.5). Aus dem Verformungsverhalten lässt sich der Augeninnendruck ableiten.

Das Verfahren bietet den großen Vorteil, dass zur Durchführung der Messung keine Anästhesie oder Schutzmaßnahmen zur Desinfektion notwendig sind. Nachteilig ist jedoch eine hohe Streuung der Messwerte von bis zu 20 %. Daher erfolgt eine umfassende Betrachtung der Einflüsse auf die Messunsicherheit. Die Biegesteifigkeit der Hornhaut in Abhängigkeit ihrer anatomisch individuellen

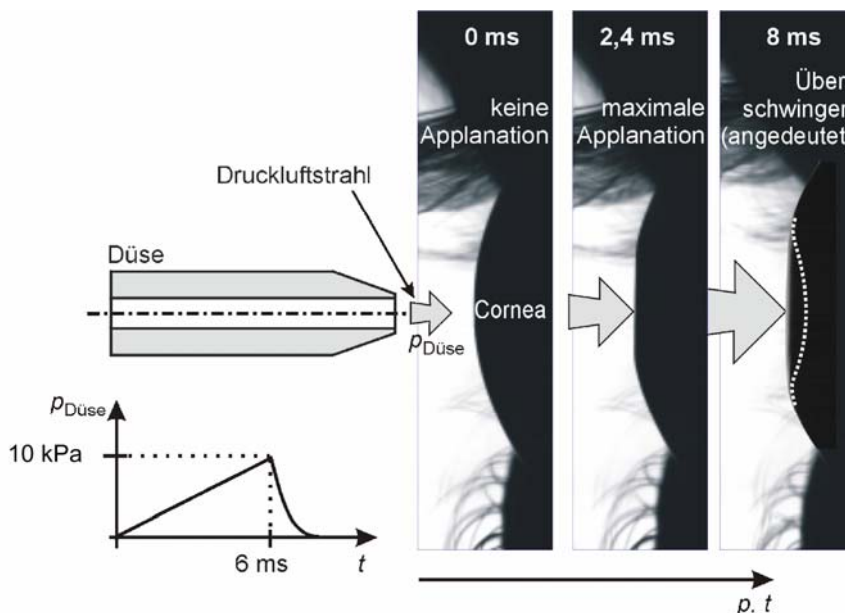


Abb. 6.5: Verformung der Hornhaut des Auges bei der Luft-Appplanationstonometrie durch einen im Druck ansteigenden Luftstrahl.

Dicke besitzt den mit Abstand größten Einfluss auf die Messunsicherheit. Es wird gezeigt, dass nichtlineare Effekte wie die Massenbeschleunigung oder eine messbedingte Druckerhöhung vernachlässigt werden können. Für eine Verifizierung der Abschätzungen werden die mechanische Modellierung mit einem FEM-Modell und insbesondere die Auswahl der relevanten mechanischen Parameter ausführlich diskutiert. Das Ergebnis der Untersuchungen ist in Abb. 6.6 zusammengefasst.

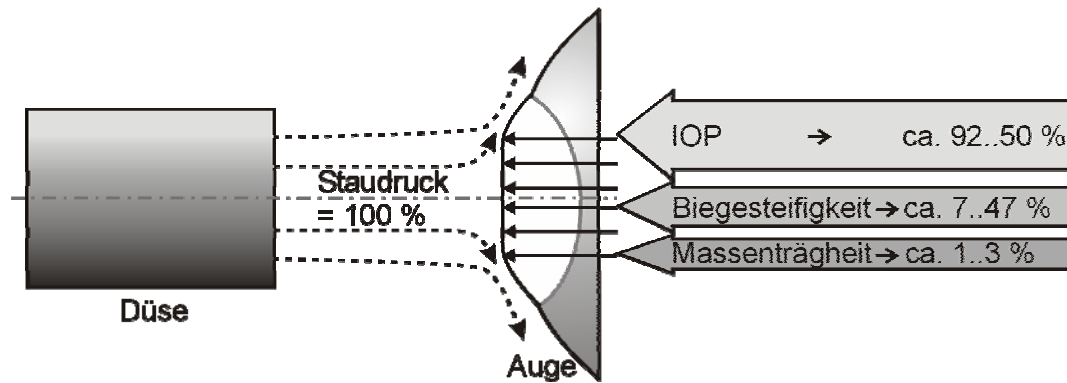


Abb. 6.6: Ergebnis der Abschätzung der Anteile der Gegendrücke des Auges bei Luftstrahlbeaufschlagung, beeinflusst durch Anatomie und Physiologie des Auges.

Für die Durchführung der Tonometrie muss die Position des Auges detektiert und eine definierte Messposition angefahren werden. Anschließend wird ein Druckluftstrahl mit definierter Charakteristik erzeugt und auf die Hornhaut des Auges gelenkt. Aus dem Verformungsverhalten, der Applanation, lässt sich der Augeninnendruck bestimmen. Für die Konzeption und den Entwurf des erforderlichen Sensorsystems werden eine Vielzahl von Möglichkeiten diskutiert. Ein neuartiges, direkt gekoppeltes Sensor-Aktor-System zur Erfassung der Position und maximalen Applanation des Auges wird vorgestellt. Im Vergleich zum Stand der Technik wird eine deutlich reduzierte Anzahl an optischen und mechanischen Bauteilen verwendet. Damit wird eine drastische Reduzierung des Bauvolumens ermöglicht. Zur Kalibration wird ein Messplatz entworfen und realisiert. Die Erzeugung des instationären, turbulenten Druckluftstrahls wird mit einem Kolbensystem realisiert und empirisch optimiert. Ein System zur messtechnischen Charakterisierung des Luftstrahls wird vorgestellt.

Zur Validierung des realisierten Labormusters des ersten, handgehaltenen Selbst-Luft-Applanationstonometers werden an insgesamt 40 Augen ärztlich betreute Probandenmessungen durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt eine gegenüber dem Stand der Technik um 4 % reduzierte Messunsicherheit und bestätigt den gewählten Ansatz.

7. Studien- und Diplomarbeiten

7.1 Studienarbeiten

- [SA 1623] Sasaran, Catalin:
Konstruktionskatalog für Gelenke zur intrakorporalen Anwendung
(Röse)
- [SA 1628] Hatzfeld, Christian:
Drucksensoren für raue Umgebungsbedingungen mit magneto-
elastischem Wirkprinzip
(Wohlgemuth)
- [SA 1629] Rohm, Martin:
Automatisierung und Inbetriebnahme eines Messplatzes zur statischen
und dynamischen Vermessung von miniaturisierten Kraftsensoren
(Meiss/Rausch)
- [SA 1633] Bohne, Laura:
Entwicklung und Aufbau einer Testumgebung zur Beurteilung der
Eignung von Sensoren zur Tumordetektion
(Rausch)
- [SA 1634] Krüger, Stefanie:
Vervollkommnung eines Sensorsystems zur Positions- und
Applanationserfassung des Auges während der Luft-Applanations-
tonometrie
(Weber)
- [SA 1636] Schmidt, Sebastian:
Prozessentwicklung zur Herstellung elektrothermischer Mikroaktoren
(Eicher/Greiner)
- [SA 1637] Büscher, Daniel Renè:
Bistabiler elektrothermischer Klemm-Mechanismus
(Eicher)
- [SA 1639] Singer, Carsten:
Lichtstrommessung an LED-Bauelementen: Messaufbau, Genauig-
keitsuntersuchung, Ermittlung der Lichtausbeute jüngster LED-
Generationen
(Khanh/Brückner - Lichttechnik)

- [SA 1641] Groh, Andreas:
Temperaturabhängigkeit licht- und farbtechnischer Größen von LED-Bauelementen jüngster Generation
(Khanh/Brückner)
- [SA 1643] Hamel, Stefan:
Investigation of novel passive phase shifter concepts in microscale millimeter wave applications
(Schlaak/Oberhammer KTH)
- [SA 1648] Ayllon Clemente, Irene:
Drehzahlbestimmung von rotodynamischen Pumpen mittels Auswertung von Drucksignalen
(Werner)
- [SA 1650] Knell, Holger:
Entwurf und Aufbau eines Sensorarrays zur taktilen Oberflächenmessung
(Rausch)
- [SA 1651] Kuhn, Thomas:
Emulator für piezoelektrische Aktoren
(Schemmer)
- [SA 1652] Hamann, Monika:
Charakterisierung und Optimierung des Schleuderprozesses zur Herstellung dielektrischer Polymeraktoren
(Matysek)
- [SA 1654] Knobloch, Verena:
Aufbau und Validierung eines variablen Versuchsaufbaus für Außeneinsätze mit Vehicle-to-Vehicle-Communication
(Sprute)
- [SA 1655] Frohnapfel, Anja:
Spektrale Untersuchungen der chromatischen Kontrastempfindlichkeit im mesopischen Bereich
(Haferkemper/Paramei)
- [SA 1656] Rossner, Tim:
Untersuchung der sensorischen Eigenschaften gestapelter dielektrischer Elastomeraktoren
(Lotz)
-

-
- [SA 1657] Böll, Marvin:
Vergleichende Messungen von Lichtquellen im Bereich des
Dämmerungssehens
(Schiller)
- [SA 1660] Koark, Fabian:
Herstellung metallischer Elektroden auf Silikonfilmen
(Matysek)
- [SA 1664] Gaus, Vladimir:
Untersuchung einer digitalen Spiegelreflex-Konsumkamera hinsichtlich
der Eignung als Leuchtdichtemess-System
(Haferkemper/Lichttechnik)
- [SA 1666] Wang, Yue:
Packaging und Formgebung miniaturisierter Kraftsensoren zum Einsatz
im Körper
(Meiß)
- [SA 1673] Interwies, Steffen:
Aufbau und Test eines Kraftmesselementes in Dickschichttechnologie für
die intrakorporale Kraftmessung
(Rausch)
- [SA 1675] Mößinger, Holger:
Positionsbestimmung in drahtlosen Sensornetzen
(Stöhr/Rafflenbeul)
- [SA 1677] Neumann, Matthias:
Analyse der Fertigungskosten elektromechanischer Systeme beim Einsatz
der UV-Tiefenlithographie
(Eicher)
- [SA 1678] Mantaj, Irina:
Etablierung eines Risikomanagementprozesses und Durchführung einer
Risikoanalyse für INKOMAN
(Röse)
- [SA 1684] Budelmann, Christoph:
Entwicklung und Aufbau der Sensorsignalverarbeitungseinheit und eines
Demonstrators eines Assistenzsystems für Katheterisierungen
(Meiß)
-

- [SA 1685] Winterstein, Thomas:
Entwicklung einer Auswerteelektronik für taktile Displays
(Matysek)
- [SA 1687] Schwamb, Philipp:
Testing hermeticity of MEMS packages using Pirani gauges
(Schlaak/Herriott-Watt-Univ.)
- [SA 1688] Nottrodt, Oliver:
Ermittlung der Sperrschichttemperatur von Hochleistungs-LEDs durch
Messung der Vorwärtsspannung
(Brückner)
- [SA 1693] Totzauer, Alexander:
Erarbeitung einer effizienten Fernlichtunterteilung abgeleitet aus einem
stochastischen Modell der Bedingungen des deutschen Straßenverkehrs
(Sprute)

7.2 Diplomarbeiten

- [DA 1627] Bogdahn, Markus:
Charakterisierung der Eigenschaften dünner dielektrischer Schichten
(Lotz)

- [DA 1631] König, Felix:
Energieoptimale Ansteuerung von elektronisch kommutierten Motoren
(Schemmer/Klemm, Braun)

- [DA 1632] Hofbauer, Mathias:
Untersuchungen zur Miniaturisierung von BLDC-Positronierantrieben für
die minimalinvasive Chirurgie
(Schemmer/Hoppach)

- [DA 1635] Staab, Matthias:
Aufbau eines Motion-Analyzers zur Charakterisierung von MEMS-
Strukturen
(Eicher)

- [DA 1638] Bohrmann, Dino:
Drahtlose Signalübertragung für die EBS-Sensorik
(Werthschützky/Zahout)

- [DA 1642] Kassner, Sebastian:
Funktionsmuster eines haptischen Bedienelements für INKOMAN
(Röse)

- [DA 1644] Heinickel, Patrick:
Packaging von Silizium-Höchstdrucksensoren
(Werthschützky/Meiß)

- [DA 1645] Lückel, Kris:
Prüfstand zur Messung von Motorinduktivitäten für Linearmotoren
(Lotz)

- [DA 1646] Eggert, Eric:
Aufbau eines Prototyps zur Viskositätsmessung von Motorölen
(Schlaak/FhG-IPM, Freiburg)

- [DA 1647] Flittner, Klaus:
Aufbau eines Messplatzes zur Erfassung der statischen und dynamischen
Auslenkung dielektrischer Polymeraktoren und Verifikation
mathematischer Modelle
(Matysek)

- [DA 1649] Kober, Timo:
Konzeption Überlastschutz für piezoresistive Differenzdruckmesszelle
(Werthschützky)
- [DA 1653] Lechner, Pia:
Optimierung von Elastomeren mit Hilfe von Nanopartikeln für die
Anwendung in dielektrischen Polymeraktoren
(Lotz)
- [DA 1658] Schumacher, Stefan:
Anforderungen an ein Sensorsystem auf Basis einer Marktstudie
(Werner)
- [DA 1659] Schäck, Marco:
Entwurf und Aufbau eines miniaturisierten Präzisionsverstärkers zur
Ableitung neuronaler Signale
(Rafflenbeul)
- [DA 1661] Rörup, Hermke:
Entwicklung eines Funktionsmusters der Kinematik von INKOMAN
(Röse)
- [DA 1662] Schmidt, Diana (Biologie):
Charakterisierung eines piezoelektrischen Ultraschallaktors zur
Validierung der Anwendung in einem haptischen Display für
Katheterisierungen
(Klages)
- [DA 1663] Kutschenko, Wjatscheslaw:
Entwicklung eines Mixed-Signal-Lasertreibers für ein Laser-
projektionsmodul
(Brückner/Osram)
- [DA 1667] Hatzfeld, Christian:
Entwicklung und Aufbau eines Messplatzes für die Messung von
haptischen Wahrnehmungskennlinien am Menschen
(Kassner)
- [DA 1668] Krüger, Stefanie:
Entwicklung eines dentalen Handstückes für einen Diodenlaser mit
integrierter Temperaturmessung
(Werthschützky/Jerger, Sirona)

-
- [DA 1669] Bohne, Laura:
Entwicklung und Charakterisierung eines kapazitiven Drucksensors mit porösem Silizium
(Schlaak/Robert Bosch GmbH)
- [DA 1670] Cui, Yan:
System zur Untersuchung der Druckverhältnisse am harten Gaumen beim Schlucken und Sprechen
(Stöhr)
- [DA 1671] Hamel, Stefan:
Bistabiler Klemm-Mechanismus für den Einsatz in einem miniaturisierten Schrittantrieb
(Eicher)
- [DA 1672] Rossner, Tim:
Kontaktierung von miniaturisierten Kraftsensoren und Signalübertragung im Führungsdraht für Katheterisierungen
(Meiß)
- [DA 1674] He, Chengzong:
Aufbau und Test einer Sensorelektronik für mehrdimensionale Kraftmessung mit Temperaturkompensation
(Meiß)
- [DA 1676] Böll, Marvin:
Analyse des Betriebsverhaltens von Solarmodulen bei Schrägeinstrahlung und Bewertung von mathematischen Modellen zur Beschreibung des Sonnenstandes
(Khanh/Schiller)
- [DA 1679] Kuhn, Thomas:
Die Straßenbeleuchtung im Umbruch Chancen für neue Technologien
(Haferkemper)
- [DA 1680] Ballesteros Gonzales, Juan Miguel:
Vergleich verschiedener Lösungskonzepte für einen selbstüberwachenden druckbasierten Durchflusssensor
(Funke)
- [DA 1681] Brauers, Torsten:
Flache Vorsteuerung eines Biegebalkens mittels Piezoaktoren
(Greiner/Oehlschlägel/Schlake(Mathematik))
-

- [DA 1682] Singer, Carsten:
Entwicklung einer Beleuchtungseinheit für einen Filmscanner auf Basis
von Hochleistungsleuchtdioden
(Brückner)
- [DA 1683] Groh, Andreas:
Analyse elektronischer, optischer, thermischer und schaltungs-
technischer Aspekte der LED-Chip-on-Board-Technologie
(Haferkemper)
- [DA 1686] Frohnäpfel, Anja:
Psychologische und physiologische Aspekte von Farbwiedergabe und
deren Anwendung in der LED-Technologie
(Brückner)

8. Veröffentlichungen

Veröffentlichungen des Instituts EMK im Jahr 2007

- [1/2007] Brückner, S.; Khanh, T.Q.: *A Field Experiment on the Perception of Automotive Rear Lights using Pulsed LEDs with Different Frequencies*. Tagungsband, International Symposium on Automotive Lighting, September 2007, Darmstadt
- [2/2007] Eicher, D.; Schlaak, H. F.: *Herstellung freitragender Mikrostrukturen aus SU-8*. VDE/GMM-Fachbericht Technologien und Werkstoffe der Mikro- und Nanosystemtechnik, Bd. 53 (2007) , S. 41-47
- [3/2007] Eicher, D.; Schlaak, H. F.: *Elektrothermische Aktoren aus SU-8 für den Einsatz in miniaturisierten Schrittantrieben*. Proceedings Mikrosystemtechnik-Kongress 2007, 15.-17. Oktober 2007, Dresden. 2007, S. 195-198
- [4/2007] Groh, A.; Brückner, S.; Khanh, T. Q.: *The temperature-dependent changes of the photometrical and colorimetical parameters of today high power LEDs*. Lux Junior 2007 Proceedings , Bd. (2007)
- [5/2007] Groh, A.; Brückner, S.; Khanh, T.Q.: *Temperaturabhängigkeit der photometrischen und farbmtrischen Größen aktueller Hochleistungs-Leuchtdioden (The temperature-dependent changes of the photometrical and colourmetrical parameters of today high power LEDs)*. Tagungsband, International Symposium on Automotive Lighting, September 2007, Darmstadt
- [6/2007] Haferkemper, N.; Khanh, T.Q.: *A Mesopic Experiment Series at Automotive Conditions*. Tagungsband, International Symposium on Automotive Lighting, September 2007, Darmstadt
- [7/2007] Heinickel, P.; Ballas, R.; Meiß, T.; Werthschützky, R.: *Silizium-Hochdrucksensor-Messelement*. 8. Dresdner Sensor-Symposium, 10.-12. Dez.07. Dresden 2007 , S. 333-336
- [8/2007] Heinickel, P.; Werthschützky, R.: *Überlastfester piezoresistiver Silizium-Hochdrucksensor*. SENSOR + TEST 2007, 13th International Conference, 22-24 May 2007. Nürnberg 2007 . Poster, FMS Dresden
- [9/2007] Kern, T.A.; Klages, S.; Meiss, T.; Werthschützky, R.: *Closed loop stability analysis of an assistance system for catheterization*. Proceedings of IEEE World Haptic Conference, Bd. (2007) Japan: , S. 597-598

- [10/2007] Kern, T.A.; Werthschützky, R.: *Messtechnische Erfassung der mechanischen Impedanz der menschlichen Hand*. Arbeitskreis der Hochschullehrer Messtechnik (AHMT). Paderborn 2007, S. 14-25
- [11/2007] Khanh, T. Q.; Haferkemper, N.: *On the Digital Cinema Camera in High Resolution – Development Progress, Workflow and Colour Management*. Magyar Kémikusok Egyesülete, Kolorisztikai Szakosztály, 16. Koloristikai Szimpózium, Bd. (2007)
- [12/2007] Khanh, T.Q.: *Wechselwirkungen zwischen stationärer Beleuchtung und Kfz-Beleuchtung*. 5. BDEW-Fachtagung „Straßen- und Außenbeleuchtung 2007“ 6.-7. November 2007, Ulm
- [13/2007] Klages, S.; Kern, T.A.; Meiss, T.; Werthschützky, R.: *Piezoelectric Ultrasonic Actuator for a Haptic Display for Catheterisation*. Proceedings of IEEE World Haptic Conference, Japan, Bd. (2007), S. 586-587
- [14/2007] Klages, S.; Rausch, J.; Werthschützky, R.: *Elektromechanische Systeme in der Medizintechnik - Anwendungsbezogene Forschung in der Elektromechanik*. Thema Forschung. Technische Universität Darmstadt, Bd. (2007)
- [15/2007] Klages, S.; Weber, T.; Werthschützky, R.: *Innovative Produktentwicklung - Das Ergebnis nicht dem Zufall überlassen*. SENSOR + TEST Conference, Nürnberg. 2007
- [16/2007] Leidner, M.; Schmidt, H.; Schlaak, H. F.: *Simulation elektrischer und mechanischer Kennwerte von Steckverbinder-Kontaktpunkten*. VDE-Fachbericht. Kontaktverhalten und Schalten. 19. Fachtagung, 26. bis 28. September 2007, Karlsruhe, Bd. 63 (2007)
- [17/2007] Meiß, T.; Kern, T. A.; Klages, S.; Werthschützky, R.; Bartuch, H.: *Fertigung eines Miniaturkraftsensors mit asymmetrischem Grundkörper zur Anwendung bei Katheterisierungen*. MikroSystemTechnik KONGRESS 2007. 15.-17. Oktober 2007, Dresden 2007
- [18/2007] Meiß, T.; Kern, T. A.; Klages, S.; Werthschützky, R.; Bartuch, H.: *A Novel, Highly Minaturized Force Sensor for Force Feedback During Catheterization*. SENSOR + TEST 2007. Nürnberg 2007
- [19/2007] Moessinger, A.; Marin, R.; Eicher, D.; Jakoby, R.; Schlaak, H.F.: *Liquid Crystal Reflectarray with Electronic 2D-Reconfiguration Capability*. 29th ESA Antenna Workshop on Multiple Beams and Reconfigurable Antennas, 18–20 April 2007. Noordwijk, Niederlande 2007

- [20/2007] Paramei, G. V.; Khanh, T. Q.: *Visual aging: Older observers are disadvantaged at night driving*. Tagungsband, International Symposium on Automotive Lighting, September 2007, Darmstadt
- [21/2007] Rausch, J.; Heinickel, P.; Meiß, T.; Werthschützky, R.: *Development of a piezoresistive multi component force sensor for minimally invasive liver surgery*. 41. Jahrestagung der DGBMT - Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE, 26.09. - 29.09, Aachen. 2007
- [22/2007] Röse, A.; Schlaak, H. F.: *Ein neues System zur Evaluierung und Optimierung parallelkinematischer Mechanismen*. Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik. 7. GMM /ETG-Fachtagung vom 12. bis 13. Juni 2007 in Augsburg. 2007
- [23/2007] Schemmer, B.; Schlaak, H. F.: *Emulator für piezoelektrische Aktoren*. Proceedings Mikrosystemtechnik-Kongress 2007, 15.-17. Oktober 2007, Dresden. 2007, S. 171-174
- [24/2007] Schemmer, B.; Schlaak, H. F.: *Untersuchung zur Leistungsdichtesteigerung von Kleinantrieben für die Medizintechnik*. 41. Jahrestagung der DGBMT - Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE, Bd. (2007) Aachen
- [25/2007] Schiller, C.; Khanh, T. Q.: *50 Jahre Forschung, Entwicklung und Lehre am Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Darmstadt*. LICHT, Bd. (2007) Pflaum Verlag München
- [26/2007] Schiller, C.; Khanh, T.Q.: *First Field Tests of Cars with Completely Built-in LED Headlamps under Realistic Driving Conditions*. Tagungsband, International Symposium on Automotive Lighting, September 2007, Darmstadt
- [27/2007] Schlaak, H. F.; Schemmer, B.: *Miniaturisierung in der Antriebstechnik – Neue Herausforderungen*. Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik: 7. GMM /ETG-Fachtagung vom 12. bis 13. Juni 2007 in Augsburg. 2007
- [28/2007] Schlaak, H. F.; Werthschützky, R.; Eicher, D.; Röse, A.; Rausch, J.; Stöhr, I.: *Im Kleinen ganz groß - Mikroelektromechanische Systeme*. Thema Forschung. Technische Universität Darmstadt. Nr. 2, Bd. 12 (2007), S. 44-50
- [29/2007] Sindlinger, S.: *Einfluss der Gehäusung auf die Messunsicherheit von mikrogehäusten Drucksensoren mit piezoresistivem Messelement*. Dissertation, TU Darmstadt, Mikro- und Sensortechnik, Eigenverlag, Darmstadt, 2007

- [30/2007] Singer, C.; Brückner, S.; Khanh, T. Q.: *Messung von Lichtstrom und Lichtausbeute an modernen Hochleistungsleuchtdioden*. LICHT, Bd. (2007), S. 5
- [31/2007] Singer, C.; Brückner, S.; Khanh, T. Q.: *Methods and techniques for the absolute and accurate determination of the luminous efficiency of today high power LEDs*.
Lux Junior 2007 Proceedings, Bd. (2007), Ilmenau
- [32/2007] Singer, C.; Brückner, S.; Khanh, T.Q.: *Methods for the accurate determination of the luminous efficacy of recent high power LEDs using an integrating sphere in combination with a photometer*. Tagungsband, International Symposium on Automotive Lighting, September 2007, Darmstadt
- [33/2007] Sprute, J. H.; Khanh, T. Q.: *Approval Requirements for a Front-Lighting System with Variable Cut-Off Line in Europe*. Tagungsband, International Symposium on Automotive Lighting, September 2007, Darmstadt
- [34/2007] Staab, M.; Eicher, D.; Schlaak, H. F.: *Aufbau eines Motion-Analyzers zur Charakterisierung von MEMS-Strukturen*. VDI-Berichte 1981: Bildverarbeitung in der Mess- und Automatisierungstechnik. Regensburg 2007, S. 259-269.
- [35/2007] Weber, T.; Werthschützky, R.: *Augeninnendruckbestimmung mit einem miniaturisierten Messsystem zur Luft-Appplanationstonometrie*. Internationales Forum Mechatronik , Bd. (2007)
- [36/2007] Weber, T.; Werthschützky, R.: *Berührungsfreie Bestimmung des Augeninnendrucks mit einer miniaturisierten Ausführung der Luft-Appplanationstonometrie*. Biomedizinische Technik, Aachen, Bd. (2007)
- [37/2007] Werner R.; Werthschützky R.: *Flow Rate Detection by Means of Pressure Difference Measurement in Rotary Pumps*. SENSOR + TEST Conference, Nürnberg. 2007
- [38/2007] Wohlgemuth, C.; Werthschützky, R.: *Design of Optimised Metal Diaphragms for Miniaturised Media Separated Silicon Pressure Sensors*. SENSOR + TEST 2007, 13th International Conference, Nürnberg 2007, S. 247-252.
- [39/2007] Wohlgemuth, C.; Werthschützky, R.: *Entwurf miniaturisierter Gehäuse mit Medientrennung für piezoresistive Druck- und Differenzdrucksensoren*. Proceedings Mikrosystemtechnik-Kongress 2007, 15.-17. Oktober 2007, Dresden. 2007

- [40/2007] Wohlgemuth, C.; Werthschützky, R.: *Galvanoformung von Mikro-Trennmembranen*. GMM Fachbericht 53 Technologien und Werkstoffe der Mikro- und Nanosystemtechnik. Offenbach 2007
- [41/2007] Werthschützky, R.; Müller, R.: *Selbstüberwachung und Störungstoleranz von autarken Sensoren*. Technisches Messen, Bd. 74, Oldenburg Verlag, 2007

Veröffentlichungen des Instituts EMK im Jahr 2008

- [1/2008] Bodrogi, P.: *Mesopic Research Today and in Future and Its Aspects for Night-Time Driving Analysis*. DELRIS - Darmstadt Expert Lighting Research International Summit. 2008
- [2/2008] Bodrogi, P.; Schanda, J.; Khanh T. Q.: *Forschungspotentiale und jüngste Forschungsergebnisse im mesopischen Bereich für eine wahrnehmungsge-rechte Verkehrs- und Kfz-Lichttechnik*. LICHT 2008
- [3/2008] Brückner, S.; Singer, C.; Haferkemper, N.; Khanh T. Q.: *Lichttechnisches und farbmétrisches Verhalten von Hochleistungs-LEDs im Pulsbetrieb bis 45 kHz*. LICHT 2008
- [4/2008] Eicher, D.; Hamel, S.; Schlaak, H.F.: *Bistable Clamping Mechanism for Use in a Microstructured Electrothermal Inchworm Platform*. 53rd IWK – Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, 8.-12. Sep. Technische Universität Ilmenau, 2008, Tagungsband und DVD, 2008
- [5/2008] Groh, A.; Khanh, T. Q.: *Thermische Abhängigkeiten von Hochleistungs-LEDs und Konsequenzen für die LED-Leuchtenentwicklung*. LICHT 2008, Pflaum Verlag GmbH & Co. KG, S. 680-686
- [6/2008] Haferkemper, N.; Khanh T. Q.; Sprute, J. H.: *Untersuchungen zur Messge-nauigkeit der Leuchtdichte und des Farbortes aktueller Farb- und Spekt-ralmessgeräte*. LICHT 2008
- [7/2008] Ionescu, E.; Greiner, P.F.; Ngoumeni Yappi, R.B.; Martinez-Crespiera, S.; Schlaak, H.F.; Riedel, R.: *Thermally Conductive SU-8-Composites using Ceramic Nano-Powders*. 6th International Nanotechnology Symposium, Nanofair 2008, 11.-12. März 2008, Dresden S. 205
- [8/2008] Kassner, S.; Rausch, J.; Kohlstedt, A.; Werthschützky, R.: *Analysis of me-chanical properties of liver tissue as a design criterion for the development of a haptic laparoscopic tool*. Confererece proceedings: European Biomed-ical Engineering Congress 2008, 23.-28. November 2008, Antwerp, Belgi-um. 2008

- [9/2008] Khanh T. Q.; Frohnapfel, A.; Grechana, N.: *Über Untersuchungen der Farbwiedergabeeigenschaften von Lichtquellen auf der Basis der Farbdifferenz-Evaluierung*. LICHT 2008
- [10/2008] Khanh, T. Q.; Böll, M.; Schiller, C.; Haferkemper, N.: *Helligkeits- und Kontrastwahrnehmung im mesopischen Bereich*. LICHT 2008
- [11/2008] Klages, S.; Kern, T.A.; Meiss, T.; Werthschützky, R.: *Experimental Rig for the Application of a Piezoelectric Ultrasonic Actuator in a Medical Environment*. Conference proceedings: Actuator 2008, 11th International Conference on New Actuators and 5th International Exhibition on Smart Actuators and Drive Systems, 9- 11 June 2008, Bremen, Germany. 2008, S. 977-980.
- [12/2008] Kuhn, T.; Haferkemper, N.; Schiller, C.; Groh, A. ;Khanh, T. Q.: *LEDs für die Außenbeleuchtung*. energy 2.0, Bd. (2008), S. 5
- [13/2008] Leidner, M.; Schmidt, H.; Myers, M.; Schlaak, H.F.: *A new simulation approach to characterizing the mechanical and electrical qualities of connector contacts*. 24th International Conference on Electrical Contacts, 9-12 June 2008, Saint-Malo, Proceedings
- [14/2008] Lotz, P.; Matysek, M.; Lechner, P.; Hamann, M.; Schlaak, H.F.: *Dielectric Elastomer Actuators using improved Thin Film Processing and nanosized Particles*. 15th SPIE Int. Symposium Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD), 9-13 March 2008, San Diego, Proceedings SPIE-6927-81
- [15/2008] Lotz, P.; Matysek, M.; Flittner, K.; Schlaak, H. F.: *Reduction of the Driving Voltage in Dielectric Elastomer Actuators*. Actuator 2008, 11th International Conference on New Actuators and 5th International Exhibition on Smart Actuators and Drive Systems, 9-11 June 2008, Bremen, Germany. 2008, S. 868-871
- [16/2008] Matysek, M.; Lotz, P.; Flittner, K.F.; Schlaak, H.F.: *High-precision characterization of dielectric elastomer stack actuators and their material parameters*. 15th SPIE Int. Symposium Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD), 9-13 March 2008, San Diego, Proceedings SPIE-6927-80
- [17/2008] Mössinger, A.; Eicher, D.; Gaebler, A.; Marin, R.; Mueller, S.; Jakoby, R.; Schlaak, H.F.: *Electronically Reconfigurable LC-Reflectarray with 2D Scanning Capability and SU-8 structured Cavity*. Frequenz (2008) 3/4, Schiele & Schön, 2008

- [18/2008] Matysek, M.; Lotz, P.; Flittner, K.; Schlaak, H. F.: *New Electrode Materials and Technologies for Enhanced Performance of Stacked Dielectric Elastomer Actuators*. Actuator 2008, 11th International Conference on New Actuators and 5th International Exhibition on Smart Actuators and Drive Systems, 9-11 June 2008, Bremen, Germany, 2008, S. 872-875
- [19/2008] Matysek, M.; Lotz, P.; Schlaak, H. F.: *Development of Multilayer Dielectric Elastomer Actuators*. Annex of the Conference proceedings: Actuator 2008, 11th International Conference on New Actuators and 5th International Exhibition on Smart Actuators and Drive Systems, 9-11 June 2008, Bremen, Germany, 2008
- [20/2008] Meiß, T.; Kern, T.A.; Klages, S.; Minamisava, C; Wang, Y; Werthschützky, R.: *The Influence of the Packaging on an In-Vivo Micro-Force Sensor*. 2008. Conf. Proc. Eurosensors, Dresden, pp. 1557-1560
- [21/2008] Meiß, T.; Kern, T.A.; Klages, S.; Werthschützky, R.: *Kraftsensor mit asymmetrischem Grundkörper zum Erfassen mindestens einer Kraftkomponente*. DE 10 2006 030 407 A1, eingereichte und veröffentlichte Erfindung, Klasse G01L 1/04, Prioritätsdatum 29. Juli 2006, Erweitert zur Internationalen Anmeldung, 2008
- [22/2008] Meiß, T.; Kern, T.A.; Klages, S.; Werthschützky, R.: *Miniaturisierbarer Kraftsensor zum Erfassen eines Kraftvektors*. DE 10 2006 031 635 A1, eingereichte und veröffentlichte Erfindung, Klasse G01L 1/20, Anmelder TUD, Prioritätsdatum 6. Juli 2006, 2008
- [23/2008] Meiß, T.; Werthschützky, R.: *Konstruktion eines Mikrokraftsensors für Herzkatheterisierungen*. Konf. Beitrag zum 22. Messtechnisches Symposium der AHMT, Dresden, 2008
- [24/2008] Myers, M.; Leidner, M.; Schmidt, H.; Schlaak, H.F.: *Extension and Experimental Verification of a New 'First Contact' Method to Model Performance of Multilayer Contact Interfaces*. 54th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, 27 – 29 October 2008, Orlando, Proceedings, 2008
- [25/2008] Rausch, J.; Werthschützky, R.: *Development of Piezoresistive Strain Gauges for Multi-Component Force Measurement in Minimally Invasive Surgery*. Proceedings of EuroSensors 2008. Dresden 2008
- [26/2008] Röse, A.; Schlaak, H.F.: *A Novel Parallel Kinematic Mechanism for Highly Flexible Laparoscopic Instruments*. 4th European Congress for Medical and Biomedical Engineering 2008, Engineering for Health, EMBEC 2008 Congress, 23-27 November, Antwerpen, Belgium, 2008

- [27/2008] Schiller, C.; Khanh T. Q.: *Über lichttechnische und physiologische Feldtests an weltweit ersten LED-Frontscheinwerfer-Autos*. LICHT 2008
- [28/2008] Schiller, C.; Khanh, T. Q.: *Photometrical and physiologicla aspects of the today LED-headlamp cars*. International Conference - V.I.S.I.O.N. 2008
- [29/2008] Schiller, C.; Khanh, T. Q.: *Psychologische Blendung bei Halogen- und Xenonscheinwerfern*. VKU - Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik Nr. 09, Bd. 46 (2008) Springer Automotive Media/GWV Fachverlage GmbH, S. 253 - 259
- [30/2008] Schiller, C.; Sprute, J. H.; Haferkemper, N.; Bodrogi, P.; Khanh, T. Q.: *Psychologische Blendung bei Halogen- und Xenonscheinwerfern*. In: ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, Bd. (2008) Springer Automotive Media / GWV Fachverlage GmbH
- [31/2008] Schlaak, H.F.; Röse, A.; Wohlleber, C.; Kassner, S.; Werthschützky, R.: *A Novel Laparoscopic Instrument with Multiple Degrees of Freedom and Intuitive Control*. 4th European Congress for Medical and Biomedical Engineering 2008, Engineering for Health, EMBEC 2008 Congress, 23-27 November, Antwerpen, Belgium, 2008
- [32/2008] Sprute, J. H.: *Reduction of Glare and Improvement of Visibility Distance by AFS*. DELRIS - Darmstadt Expert Lighting Research International Summit. 2008
- [33/2008] Sprute, J. H.; Haferkemper, N.; Reeber, D.; Khanh, T. Q.: *Influence of new High Beam Assistance Systems on Driver Behaviour and their Potentials*. International Conference - V.I.S.I.O.N. 2008
- [34/2008] Sprute, J. H.; Khanh T. Q.; Haferkemper, N.; Schiller, C.; Brückner, S.; Knobloch, V.: *Bewertung der Blendbelastung neuartiger Kfz-Scheinwerfersysteme*. LICHT 2008
- [35/2008] Steckert, C.: *Ecological Balance-Sheet of the Vehicle's Lighting Components – A First Analysis for Further Discussions*. DELRIS - Darmstadt Expert Lighting Research International Summit. 2008
- [36/2008] Weber, T.; Klages, S.; Werthschützky, R.: *Increasing student motivation by linking up knowledge transfer with enjoying studying*. International Journal of Electrical Engineering Education Nr. 2, Bd. 45 (2008) Manchester University Press, S. 162-174

- [37/2008] Werner, R.; Ayllón-Clemente, I.; Wertschützky, R.: Pressure Transducers as a Rotational Speed Detector for Rotodynamic Pumps. Proceedings of EuroSensors 2008. Dresden 2008
- [38/2008] Wohlleber, C.; Schlaak, H. F.: *Position Control of Piezoelectric Motors for a Dexterous Laparoscopic Instrument*. Confererece proceedings: European Biomedical Engineering Congress 2008, 23.-28. November 2008, Antwerp, Belgium. 2008

Bücher und Buchbeiträge

- [1] Ballas, R.:
Piezoelectric Multilayer Beam Bending Actuators
ISBN-13: 9783540326410, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 358 pages, 2007
- [2] Ballas, R.; Pfeifer, G.; Werthschützky, R.:
Elektromechanische Systeme der Mikrotechnik und Mechatronik.
Dynamischer Entwurf Grundlagen und Anwendungen.
ISBN-10: 3540893172, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2. Auflage, 486 Seiten, 2008
- [3] Kern, T. A. (Hrsg.):
Entwicklung haptischer Geräte. Ein Einstieg für Ingenieure.
ISBN-13: 9783540876434, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 486 Seiten, 2008
- [4] Schlaak, H. F.; Lotz, P.; Matysek, M.:
Multilayer stack contractile actuators.
In: Dielectric Elastomers as Electromechanical Transducers - Fundamentals, Materials, Devices, Models and Applications of an Emerging Electroactive Polymer Technology. Edited By: Carpi, F.; De Rossi, D.; Kornbluh, R.; Pelrine, R.; Sommer-Larsen, P..
ISBN-13: 9780080474885, Elsevier, Amsterdam, 344 pages, 2008
- [5] Weißmantel, H.:
Capt. 2.1 DC-Motors, pages 13 - 33 :
In: Stölting, H-D.; Amrhein, W.; Kallenbach E. (Hrsg.):
Handbook of Fractional-Horsepower Drives.Capt.
ISBN-13: 9783540731283, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 596 pages, 2008

9. Mitarbeit in Gremien

Prof. Dr.-Ing. Helmut F. Schlaak

- Vorstandsvorsitzender im mst-Netzwerk Rhein-Main e.V. – Kompetenznetzwerk Mikrosystemtechnik
- Vorstandsmitglied in der VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM)
- Weitere Funktionen in der GMM:
 - Mitglied des Beirats der GMM
 - Stellv. Leiter des Fachbereichs 4 "Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie" der GMM
 - Leiter des Fachausschusses 4.8 der GMM "Werkstoffe und Fertigungsverfahren" in der Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie
 - Mitglied in den Fachausschüssen 4.4 "Mikroaktorik", 4.7 „Mikro-Nano-Integration“ und 3.3 "Elektrische Geräte- und Stellantriebe" der GMM
 - Mitglied im Arbeitskreis "Hochschulprofessoren der Mikro- und Feinwerktechnik"
- Member of IEEE, Member of LEOS, CPMT and ED Societies
- Mitglied in OPTENCE e.V., Kompetenznetz Optische Technologien Hessen/Rheinland-Pfalz
- Akademische Selbstverwaltung der TUD:
Dekan des Fachbereichs ETiT (seit Okt. 2008)

Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Werthschützky

- Fachkollegiat der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)
- Mitglied des Vorstandes des AMA-Fachverbandes für Sensorik e.V.
- Vorsitzender des Wissenschaftsrates des AMA-Fachverbandes für Sensorik e.V.
- Mitglied des Kuratoriums des Instituts für Automation und Kommunikation e.V. (ifak) in Magdeburg
- Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates des CiS-Instituts für Mikrosensorik in Erfurt
- Mitglied des VDE-Ausschusses Ingenieurausbildung
- Mitglied im Arbeitskreis Hochschulprofessoren der Mikro- und Feinwerktechnik
- Mitglied im Arbeitskreis der Hochschullehrer für Messtechnik (AHMT)
- Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates der Zeitschrift tm – Technisches Messen

Prof. Dr.-Ing.habil. Tran Quoc Khanh

- Mitglied in Technical Committees von COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE
 - Division 2, TC 2-40: Characterising the performance of illuminance and luminance meters
 - Division 8, TC 8-10: Office illumination for imaging

Prof. Dr.-Ing. Heinz Weißmantel

- Mitglied im Arbeitskreis „Benutzerfreundlich und seniorengerecht“ des Hessischen Ministeriums für Arbeit und Soziales, der Verbraucherzentrale Hessen und der TU Darmstadt/Institut EMK
- Mitglied der DIN Kommission Elektrotechnik, DKE AK 311.0.4 Kleinmotoren
- Mitglied in der VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM) und im Fachausschuss 3.3 "Elektrische Geräte- und Stellantriebe" der GMM
- Vorstandsvorsitzender im EMKlub /Förderverein für das Institut EMK

Dipl.-Ing. Felix Greiner

- Mitglied Fachausschuss 4.7 der GMM „Mikro-Nano-Integration“
- Mitglied im Studiausschuss des FB ETiT der TU Darmstadt

10. Wissenschaftlicher Austausch

10.1 GMM-Workshop „Technologien und Werkstoffe der Mikro- und Nanosystemtechnik“, 7.-8. Mai 2007, Karlsruhe

Die VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM) hatte unter der wissenschaftlichen Leitung von Prof. Schlaak zum Thema „Technologien und Werkstoffe der Mikro- und Nanosystemtechnik“ führende Experten nach Karlsruhe eingeladen. Die Bedeutung des Themas spiegelte sich in der hohen Resonanz wieder. Mit insgesamt 25 Vorträgen und 20 Poster-Präsentationen wurde der erste Workshop dieser Art von den rund 80 Teilnehmern übereinstimmend als erfolgreich bewertet.



„Neben der Siliziumtechnik sind im letzten Jahrzehnt diverse Materialsysteme wie Metalle, Keramiken, Gläser und Kunststoff mit ihren Fertigungsverfahren in den Vordergrund getreten“, erläutert Prof. Schlaak. Große Fortschritte in den Spritzgieß- und Heißprägeverfahren, aber auch die Weiterentwicklung klassischer Formgebungsverfahren wie Hochgeschwindigkeitsfräsverfahren und Erodierverfahren haben die Miniaturisierung vorangetrieben. Somit hat sich das Feld der Materialsysteme und Fertigungstechnologien in der Mikrosystemtechnik stark erweitert, so dass es für fast alle Anforderungen zugeschnittene Lösungen gibt.

10.2 mst-Netzwerk Rhein-Main e.V.

Dem 2004 gegründeten Kompetenznetzwerk Mikrosystemtechnik - mst-Netzwerk Rhein-Main e.V. - gehören inzwischen etwa 35 Unternehmen und wissenschaftliche Institutionen aus dem ganzen Rhein-Main-Gebiet an. In sechs Arbeitsgruppen des Netzwerks findet ein intensiver Erfahrungsaustausch über technologische Fragestellungen statt. 2007 wurde das noch junge Netzwerk in die Bundesinitiative Kompetenznetze Deutschland aufgenommen, was als eine besondere Auszeichnung gilt. Ferner ist eine Vielzahl von konkreten Forschungs Kooperationen innerhalb des Netzwerks entstanden und es wurden über 1,5 Mio. EUR an Fördermitteln in der Region eingeworben.

Darüber hinaus hat das Netzwerk diverse Projekte durchgeführt und Dank der Förderung durch die Hessen-Agentur die Geschäftsführung und das Netzwerkmanagement ausweiten können. Zum Thema „Mikro-Nano-Integration“ ist eine Studie in der Reihe Hessen-Nanotech ausgearbeitet worden.

Besondere Höhepunkte der Netzwerkarbeit bilden die Jahrestagungen, die einem besonderen Schwerpunktthema gewidmet sind und unter hochrangiger politischer Beteiligung stattfinden.

Jahrestagung „Mikro-Nano-Integration“ am 4. Juli 2007 in Frankfurt

Die dritte Jahrestagung des mst-Netzwerkes Rhein-Main e.V. in der Frankfurter IHK am 4. Juli 2007 stand unter dem Motto: „Mikro-Nano-Integration“. Hinter diesem Motto steckt die Verbindung von Nano-Materialien mit der Mikrosystemtechnik. Da konnte den über 100 Teilnehmern schon über erste Produkte auf dem Markt berichtet werden sowie über Entwicklungsvorhaben, die eine hochinteressante Zukunft erwarten lassen.

In Head-up-Displays (HUD) werden schon heute Submikrometer große diffraktive optische Elemente eingesetzt. Dies stellte Thomas Martin von Siemens VDO Automotive in Babenhausen vor. Damit konnten Die HUD der 2. Generation kompakter und lichtstärker gemacht werden, an einer weiter verbesserten 3. Generation wird gearbeitet.

Auch in den magnetoresistiven Sensoren werden Nanometer dicke Schichten eingesetzt für empfindliche Weg-, Positions-, Drehwinkel und Drehzahlsensoren im Bereich Automobil und Maschinenbau. Hier stellte Herr Jürgen Rühl von Lust Antriebstechnik die in Produktion befindlichen AMR-Sensoren vor, sowie Weiterentwicklungen von GMR-Sensoren (1988 von Prof. Grünberg entdeckt) und von hoch empfindlichen und hohtemperaturstabilen TMR-Sensoren vor.

Es gibt im Rhein-Main-Gebiet zwei laufende Forschungsverbundvorhaben im Bereich Mikro-Nano-Integration zu Kohlenstoff-Nanoröhren (Prof. Schneider vom Forschungsschwerpunkt Nanomaterialien der TU Darmstadt) und metallischen Nanodrähten (Prof. Schlaak, Institut EMK; Herr Korb, arteos GmbH u.a.) für Gassensoren.

Damit zeigte diese Tagung sehr gut, welches Potential in der Beschäftigung mit der Mikrosystemtechnik und ihrer Weiterentwicklung durch Nutzung von Nanomaterialien und Nanostrukturen aufweist und an Firmen und Forschungsaktivitäten in der Region vorhanden ist.

Jahrestagung „Mikrosystemtechnik für Analytik und Diagnostik“ am 6. Juni 2008 in Mainz

Die vierte Jahrestagung des mst-Netzwerks Rhein-Main e.V. am 6. Juni 2008 in Mainz stand unter dem Thema „Analytik und Diagnostik“. Rund 120 Teilnehmer aus Hessen und Rheinland-Pfalz waren ins Institut für Mikrotechnik Mainz (IMM) gekommen, um den Bogen zu spannen von der diagnostischen Gerätetechnik über therapeutische Systeme bis hin zur eigentlichen Herstellung der Mikrosysteme. Prof. Dr. Gerhard Wegner, Wissenschaftlicher Geschäftsführer des IMM sagte in der Begrüßung: "Das mst-Netzwerk ist ein entscheidendes Instrument, um Industriepartner für unsere Verbundforschung zu gewinnen."

Prof. Schlaak, Vorstandsvorsitzender des mst-Netzwerk Rhein-Main e.V.: „Mit unserer Jahrestagung in Mainz haben wir Firmen und Institute aus der hiesigen Umgebung in Rheinland-Pfalz für unsere Netzwerkarbeit interessiert. Forschungsergebnisse und Wertschöpfungsketten sollten schließlich nicht an Ländergrenzen halt machen.“ Eröffnet wurde die Veranstaltung durch die Rheinland-Pfälzische Ministerin für Wissenschaft, Jugend und Kultur, Doris Ahnen.

„Vom Messen und den Messwerten gehen wir zur Interpretation, d.h. zur Aussage des Messergebnisses für den Anwender. Genau diesen Spannungsbogen haben wir auf dieser Tagung erlebt“, so Dipl.-Ing. Frank Neumann, Abteilungsleiter Feinwerktechnik beim Institut für Mikrotechnik Mainz. So diskutierten Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft über Trends in der Anwendung und den daraus folgenden Anforderungen: von der Blutdiagnostik bis zu Dialysesystemen über die Funktion der Fluidsysteme und Grundelemente wie Kanäle, Filterstrukturen und Elektrophorese-Systeme. Mikrosysteme lassen sich für die Fluidik nur durch ausgefeilte Herstellungsverfahren realisieren. Hierzu gab es Beiträge über Herstellungsverfahren, Technologien und Werkstoffe. Dabei standen die Kunststofftechnologien und - für deren Herstellung - die hochpräzise Formgebung für die Werkzeuge im Vordergrund.

Schließlich wurde ein komplettes Chemielabor auf einem Chip vorgestellt, in dem mehrere Technologien miteinander verbunden wurden. Auch die Schnittstellen von Mikrosystemen zur Außenwelt unter dem Slogan "Chip to world" stellten auf der Tagung Gesprächsstoff dar. „Das Symposium hat eine ganze Wertschöpfungskette vorgestellt. Diese kann nur funktionieren, wenn Kompetenz von den Fertigungsverfahren über die Komponenten zu den Systemen bis hin zur Anwendung vorliegt und zwischen den Akteuren der Wertschöpfungskette ausgetauscht wird“, so Prof. Schlaak. Dr. Torsten Matthias (Aesku Diagnostics): "Die Integration der Mikrosystemtechnik ermöglicht uns neue Lösungen bei der Entwicklung von vollautomatischen Prozessen für die Laborroutine."

Informationen zu den laufenden Arbeiten sowie Anträge auf Mitgliedschaft, die Satzung und Beitragsordnung sind auf der Homepage des Netzwerks <http://www.mst-netzwerk.de> zu finden.

10.3 Wissenschaftliche Tagungen am Fachgebiet Lichttechnik

Der Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen in die industrielle Praxis ist am Fachgebiet Lichttechnik von großer Bedeutung und hat bereits eine lange Tradition. Neben direkten Kontakten zu industriellen Partnern im Rahmen von Forschungsaufträgen und Kooperationen, sind wissenschaftliche Tagungen und Kongresse ein geeignetes Mittel, um eine Vielzahl an fachlich Interessierten gleichzeitig und persönlich adressieren zu können. Das Fachgebiet Lichttechnik ist seit Anfang der 1980er Jahre auf dem Gebiet der automobilen Lichttechnik international eine der bedeutendsten Forschungseinrichtungen. Im Jahr 1995 führte das Fachgebiet erstmals die Tagung PAL (Progress in Automobile Lighting) durch, die seitdem alle zwei Jahre in Darmstadt stattfindet. Im Jahr 2005 wurde die Tagung mit einem neuen Konzept in ISAL (International Symposium on Automotive Lighting) umbenannt. Zur ISAL 2007 kamen mehr als 550 internationale Experten der Automobillichttechnik nach Darmstadt. Als Weltpremiere wurde der Audi R8 mit Voll-LED-Scheinwerfern (Abb. 10.1) auf der ISAL 2007 dem Publikum erstmals vorgestellt. Auf Anregung der Automobilindustrie, eine



Abb. 10.1: Weltpremiere auf der ISAL 2007 in Darmstadt – Der Audi R8 mit Voll-LED-Scheinwerfern

Tagung mit einem kleineren Kreis an Experten durchzuführen, fand im Jahr 2008 erstmals der Workshop DELRIS im neuen Kongresszentrum „darmstadtium“ von Darmstadt statt. Insgesamt 80 geladene Führungskräfte aus der automobilen Beleuchtungstechnik, von Bundesministerien und Normungsgremien folgten dem Ruf der TU Darmstadt. Im Rahmen des Workshops wurde den Teilnehmern erstmals die Möglichkeit gegeben, zukunftsweisende Themen in der Automobillichttechnik zu definieren und ihre Umsetzung aus Sicht der Zulassungsbehörden und des Gesetzgebers zu diskutieren. Die grundsätzliche Idee einer derartigen Veranstaltung fand sehr guten Anklang und der Wunsch nach einer erneuten Veranstaltung in dieser Form in der Zukunft ist angedacht.

Desweiteren wurden vom Fachgebiet Lichttechnik die Jahrestagungen der DfwG (Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft) im Oktober 2007 und die Jahrestagung der DAfP (Deutsche Akademie für Photobiologie und Phototechnologie e.V.) im April 2008 in Darmstadt organisiert.

11. Besondere Ereignisse

11.1 Projektseminar PEM I 2006/2007: Elektrische Muskeln als Alternative zum Elektromotor?

Die „Formgedächtnisroboter“ wurden im Rahmen der Lehrveranstaltung „Praktische Entwicklungsmethodik“ im WS 2006/2007 entwickelt. Dieses Projektseminar ist seit vielen Jahren das Wahrzeichen des Instituts für Elektromechanische Konstruktionen. Hier lernen die Studenten anhand eines Projekts das systematische und methodische Vorgehen zum Lösen einer technischen Aufgabenstellung. Auf diese Weise sammeln die Studierenden schon in ihrer Ausbildung Erfahrungen, die sie als Ingenieure in der Industrie sofort einsetzen können. Neben dem technischen Fachwissen sind dies vor allem auch die sozialen Kompetenzen, die durch wechselnde Gruppenzusammensetzungen gefördert werden.

In Teams von vier Studenten sollte innerhalb des Wintersemesters jeweils ein elektromechanisches Gerät entwickelt werden, welches sich mit Hilfe von Drähten aus Formgedächtnismetall möglichst schnell fortbewegt. Die Geräte müssen mehreren Randbedingungen genügen: Sie dürfen im Ruhezustand eine Grundfläche von einem DIN A6 Blatt nicht überschreiten, noch kleinere Geräte erhalten Bonuspunkte. Der elektrische Energiespeicher in Form einer Knopfzelle ist knapp bemessen und muss optimal ausgenutzt werden. Außerdem musste neben der zeitlichen Begrenzung auch der finanzielle Rahmen von 75 Euro eingehalten werden.

Im Rahmen des Wettbewerbs wurden die Geräte im Zeitversuch miteinander verglichen.

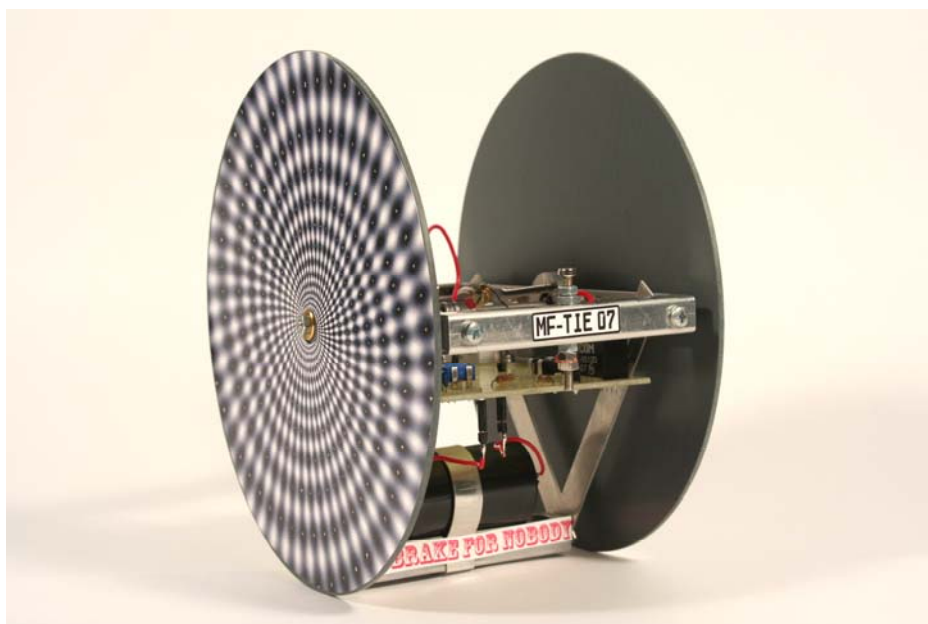


Abb. 11.1: Im PEM I 2006/2007 entwickelter Formgedächtnisroboter

11.2 Projektseminar PEM I 2007/2008: Hochstapeln – aber richtig!

Die elektromechanischen Klötzchenstapler (EMKlötzchenstapler) wurden im Rahmen der Lehrveranstaltung „Praktische Entwicklungsmethodik“ im Wintersemester 2007/2008 entwickelt.

Die Teams von vier bis fünf Studenten hatten dieses Jahr die Aufgabe, ein elektromechanisches Gerät zu entwickeln, das einen möglichst hohen Turm aus Holzklötzchen bauen kann. Die Geräte müssen mehreren Randbedingungen genügen: Sie dürfen zu keiner Zeit die Grundfläche von 60 x 60 cm² überschreiten. Das Stapeln der vorgegebenen 30 Klötzchen muss nach dem Startsignal vollautomatisch ablaufen. Außerdem muss neben der zeitlich begrenzten Entwicklungszeit von einem Semester auch der finanzielle Rahmen von 75 Euro eingehalten werden.

Für den Wettbewerb ist die erreichte Turmhöhe entscheidend. Gewonnen hat das in Abb. 11.2 dargestellte von den Betreuern Marc Matysek und Mark Kohlstedt begleitete Team auf Grund einer raffinierten Stapeltaktik.

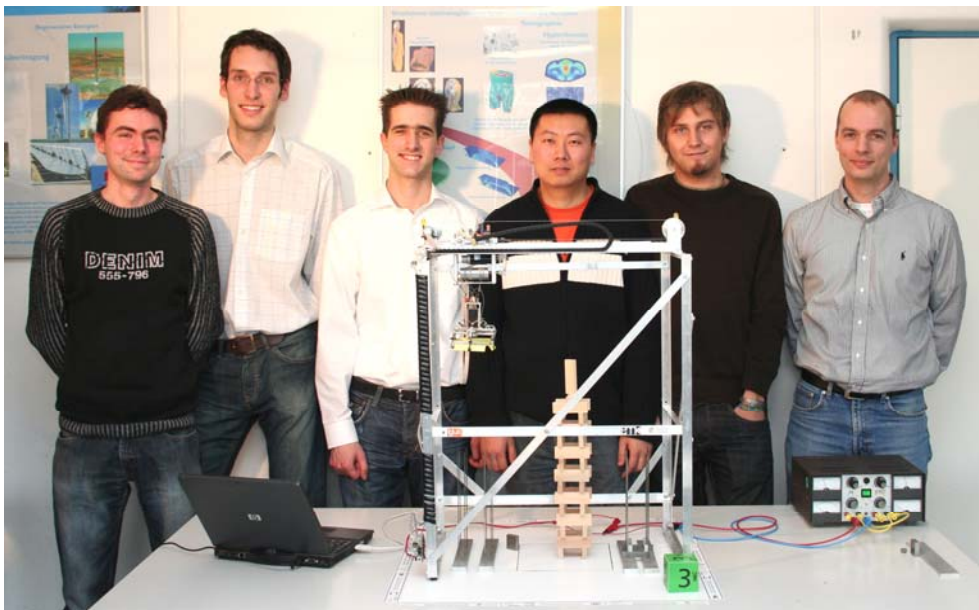


Abb. 11.2: Siegerteam mit Betreuern beim Abschlusswettbewerb zum EMKlötzchenstapler

11.3 Tag der Technik – 45 Jahre Institut EMK

Zum „Tag der Technik“ hatte der Fachbereich Elektro- und Informationstechnik der TU Darmstadt am Samstag, dem 14. Juni 2008 in die Merckstraße eingeladen.

Grund zum Feiern bot das 45. Jubiläum des Instituts für Elektromechanische Konstruktionen (EMK), das am 1. April 1963 mit der Berufung von Curt Brader begründet wurde. Aus diesem Anlass haben wir ein Festkolloquium veranstaltet, in dem nach dem Grußwort des Dekans Prof. Hinrichsen die Geschichte des Instituts vorgestellt und die heutigen Arbeitsgebiete des Instituts aus der Sicht von Gastrednern aus der Industrie beleuchtet wurden.

Vor 45 Jahre beschäftigte sich Prof. Brader vor allem mit der Entwicklung von Fernschreibern. In den siebziger Jahren kamen neue Themen wie Mensch-Maschine-Kommunikation, Medizintechnik oder Kleinstantriebe dazu. 1976 entstand so das Modell einer elektromechanischen Handprothese. „20 Jahre zu früh, das konnte noch nicht umgesetzt werden“, bedauerte Prof. Schlaak in seinem Referat.

Der historische Überblick führte schließlich zu den heutigen Arbeitsschwerpunkten, der Mikrotechnik, Mess- und Sensortechnik sowie Lichttechnik. Im Mittelpunkt steht dabei die Entwicklung neuartiger Systeme, aber auch die praxisnahe Ausbildung des Nachwuchses. „Hands-On für Studenten“, so Schlaak, bietet deshalb das Reinraumlabor für Mikrotechnik. In Projektseminaren lernen die Nachwuchsingenieure, innerhalb kurzer Zeit eine knifflige Aufgabe zu lösen.

Dr. Sieghard Schäßler von Continental erklärte, vor welchen Schwierigkeiten die Entwickler von Sensoren stehen, die den Luftdruck im Autoreifen messen sollen. So ein Gerät benötigt Energie, aber „eine Batterie im Reifen, das ist nicht wirklich schön.“ Besser wäre ein Mikrogenerator. Nur muss der billiger als 15 Cent und leichter als ein Zwei-Euro-Stück sein und zudem „so gut wie immer funktionieren“.

Auch Dr. Simon Armbruster von Bosch beschäftigt sich mit Mikrosystemtechnik im Auto, die seit den 1990er Jahren, „als ein Elch die A-Klasse erschreckte“, einen Boom erlebt. „Selbst in Mittelklassewagen sind wir heute durchgängig in der Größenordnung von hundert Sensoren“, erklärte Armbruster.

Über die Wirkung von Licht auf den Menschen sprach dagegen Michael Härtl vom Leuchtenentwickler Siteco. Hingucker seines Vortrags war das Modell einer LED-Straßenlaterne, die stark an eine exotische Pflanze erinnerte.

Nach dem Kolloquium, das von Andreas Röse professionell moderiert wurde, gab es eine Stärkung sowie vielfältige Gelegenheiten in Fachgesprächen an den Ausstellungsständen im Institut sowie anderen Instituten des Fachbereichs die Eindrücke an Hand der Exponate zu vertiefen.

11.4 Einführungsprojekt ETiT

Seit der Einführung der Bachelor-/Master-Studiengänge im Wintersemester 2007/2008 enthält der Studienplan neben den Grundlagenfächern vermehrt Lerneinheiten zum Erwerb von Sozial- und Methodenkompetenzen. Ein wichtiger Baustein stellt die vom Institut EMK organisierte Projektwoche, „Einführungsprojekt ETiT – Im Team zum Erfolg“, dar. Die Projektwoche ist eine Pflichtveranstaltung im ersten Semester für alle Studierenden der Studiengänge Elektro- und Informationstechnik (ETiT), Mechatronik und Informationssystemtechnik.

Gleich zu Beginn ihres Studiums sollen die angehenden Ingenieure an die ingenieurtypische Arbeitsweise herangeführt werden. Dazu zählt einerseits methodisches und zielgerichtetes Vorgehen, andererseits eine projekt- und teamorientierte Arbeitsweise. Das Konzept ist an die vom Fachbereich Maschinenbau schon seit 10 Jahren erfolgreich durchgeführte Projektwoche „Einführung in den Maschinenbau (emb)“ angelehnt. In Zehnerteams erarbeiten die Studenten im Laufe einer Woche ein Lösungskonzept zu einer spannenden und motivierenden Aufgabenstellung. Dabei unterstützen sie Fachbegleiter aus dem Kreis der wissenschaftlichen Mitarbeiter bei fachlichen Fragen. Zusätzlich gibt es von der Hochschuldidaktischen Arbeitsstelle (HDA) geschulte Hilfskräfte, die Teambegleiter. Diese beobachten die Studenten bei ihrer Teamarbeit und geben ihnen wertvolle Tipps. Um den Kontakt der Studierenden zu den Professoren des Fachbereichs frühzeitig herzustellen, werden diese den Studenten an einem Tag der Projektwoche als Experten zur Verfügung stehen und deren Fragen beantworten. Den Abschluss des Einführungsprojektes ETiT stellt die Präsentation der Ergebnisse in der Folgeweche dar. Hier erhalten die Gruppen die Gelegenheit, ihre Lösungen vorzustellen und sich der anschließenden Diskussion zu stellen. Die besten Vorträge und Konzepte werden bei dieser Gelegenheit mit Sachpreisen ausgezeichnet.

Im Jahr 2007 bearbeiteten die Teilnehmer des Einführungsprojekts „Elektrische Systeme zur Unterstützung von Bewegungstherapien im Gesundheitswesen“. 2008 war das Thema „Regenerative Energien zur Versorgung elektronischer Geräte für Rucksacktouristen“.

Weitere Informationen: www.institut-emk.de/einfuehrungsprojekt

12. Fördervereine

12.1 EMKlub

Aus dem Kreis der ehemaligen Studenten und Mitarbeiter kam 1995 der Vorschlag, einen Förderverein zu gründen, der die Arbeit des Instituts begleitet und unterstützt. Daneben soll er helfen, die Kontakte der Absolventen zu ihrem Institut und untereinander zu pflegen. Gerade die Tatsache, dass die "Ehemaligen" in sehr unterschiedlichen Arbeitsgebieten tätig sind, macht persönliche und fachliche Verbindungen besonders reizvoll. Nach den notwendigen Vorbereitungsarbeiten wurde der *"Verein der Freunde des Instituts für Elektromechanische Konstruktionen an der Technischen Universität Darmstadt e. V."* gegründet und ins Vereinsregister eingetragen.

Der Förderverein kann und will nicht in Wettbewerb zur Vereinigung der Freunde der TU Darmstadt treten. Er sieht vielmehr seine Aufgaben unterhalb der Ebene, in der die großzügige Förderung durch die Freunde der TUD angesiedelt ist. Andererseits kann er in Bereichen wirksam werden, die sich speziell auf das Institut beziehen, wie zum Beispiel die erwähnte Kontaktpflege.

So wie sich innerhalb und außerhalb der Universität für das Institut die Kurzform EMK eingeführt hat, haben die ersten Mitglieder des Fördervereins diesem spontan den Namen EMKlub gegeben. Der Verein hat inzwischen 230 Mitglieder. Die Mitgliederversammlung fand in den letzten beiden Jahren jeweils im Herbst statt. Gastgeber waren die Firmen MAN Roland Druckmaschinen AG Offenbach (2007) und Sirona Dental Services GmbH in Bensheim (2008). Das Tagesprogramm bestand jeweils aus Firmenpräsentation und -besichtigung, der Mitgliederversammlung und einem gemütlichen Zusammensein am Abend.

Neben der in der Satzung verankerten wissenschaftlichen Förderung vergibt der Verein Preise für herausragende Projektseminare, Studien- oder Diplomarbeiten an Studenten. Dabei trägt der Verein die Kosten für z.B. eine wissenschaftliche Tagung, für Fachliteratur oder sonstige Anschaffungen der Preisträger, die im engen Zusammenhang mit dem Studium stehen.

Im Jahr 2008 erhielt Herr Patrick Heinickel für seine Diplomarbeit „Hochdrucksensor-Messelement“ diesen Preis.

Da die Nominierung nach einer Vorauswahl am Institut drei externen Gutachtern obliegt, suchen wir für diese Tätigkeit immer wieder freiwillige Absolventen, die in der Lage sind, 2 – 3 Arbeiten zu bewerten.

Der EMKlub unterstützt das Institut in unterschiedlicher Weise. Die Fördermaßnahmen betreffen die:

- Ausstattung des Instituts
- Lehre
- Nachwuchsförderung
- Forschung
- Infrastruktur sowie die
- Kommunikationsverbesserung mit den Studenten

Für diese Maßnahmen wurden in beiden Jahren zusammen ca. 7.100 Euro bereitgestellt.

Ein neues Projekt, das gut angekommen ist, sind die “Neuen Klubnachrichten“. Im Berichtszeitraum sind wieder drei Ausgaben erschienen, die über das Neueste aus dem Institut berichten.

Ein anderes Projekt des EMKlub ist die Herausgabe und ständige Aktualisierung eines Mitgliederverzeichnisses, das Hinweise auf das berufliche Arbeitsfeld der ehemaligen Studenten enthält. Es soll den oft beschworenen und schwierig zu erreichenden Synergieeffekt zwischen Fachleuten aus unterschiedlichen Arbeitsgebieten fördern. Arbeitsgebiete, wie Nachrichtentechnik, Medizintechnik, Optik, Automobiltechnik, Gebäudetechnik, Hausgerätetechnik, Automatisierungstechnik, Lichttechnik und andere finden sich im Verzeichnis.

Auch bei der Suche nach Stellen für Praktikanten und für Absolventen hilft der EMKlub mit einer Job-Börse.

Selbstverständlich investiert der Klub mit seinen Mitgliedern Arbeitszeit für die Vorbereitung und Durchführung der Veranstaltungen, z.B. der Studentenwerbung auf der HOBIT und dem TU-Day, den Kontakt mit der Heinrich-Emanuel-Schule, einem beruflichen Gymnasium, dem Sommerfest, der Weihnachtsfeier und vielem anderen mehr.

Zur Förderung der Kommunikation unter den Mitgliedern wurde 2003 das elektronische Forum EMKlatsch eingerichtet, an dem Mitglieder, die eine Email-Adresse besitzen, teilnehmen können. Hier findet man z.B. Anfragen über die Entwicklung von Regensensoren, Informationen über Geschäftseröffnungen, oder es leben einfach alte Kontakte wieder auf.

Der Mitgliedsbeitrag beträgt 40 €/Jahr. Studenten und Mitarbeiter des Instituts sind vom Mitgliedsbeitrag befreit. Es ist fast überflüssig zu erwähnen, dass die Mitgliedschaft im EMKlub nicht an das MFT- Studium gebunden ist. Jeder, der die Arbeitsgebiete des Instituts und seiner Absolventen interessant und die Formen der EMK-

Ausbildung attraktiv findet, ist herzlich eingeladen, sich an der Arbeit des Vereins zu beteiligen. Er leistet damit auch einen Beitrag zur langfristigen Sicherung der Ingenieurausbildung in der Studienrichtung Mikro- und Feinwerktechnik, die vom Institut für EMK getragen wird.

Auch Firmen können dem EMKlub beitreten und uns in unseren Zielen unterstützen.

Bei der letzten Mitgliederversammlung haben wir unseren Vorstand erweitert. Seit dem 7.11.2008 gehören dem Vorstand zwei Personen mehr an (Tabelle 12.1). Es sind dies die Herren:

Dr. Michael Franke, Braun GmbH, Kronberg und
Dipl. - Ing. Andreas Röse, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für EMK.

Haben wir Ihr Interesse geweckt? Nehmen Sie einfach Kontakt mit uns auf.

Tabelle 12.1: Vorstandsmitglieder des Vereins der Freunde des Instituts für EMK an der Technischen Universität Darmstadt

Name	Tel.	Fax
Brümmer, Matthias	(06196) 522-2465	(06196) 522-342465
	mbruemmer@onlinehome.de	
Cramer, Bernhard	(06151) 52206	(06151) 52206
	dl3xc@aol.com	
Förster, Matthias	(06151) 824934	(06151) 897581
	Mfbida@t-online.de	
Franke, Michael	(06173) 30-2277	(06173) 30-2724
	franke.m.2@pg.com	
Ilgen, Hans Joachim	(06151) 165296	(06151) 164096
	h.ilgen@emk.tu-darmstadt.de	
Röse, Andreas	(06151) 16-5486	(06151) 16-4096
	A.Roese@emk.tu-darmstadt.de	
Weißmantel, Heinz	(06154) 1808	(06154) 1808
	weissmantel@emk.tu-darmstadt.de	
Werthschützky, Roland	(06151) 162296	(06151) 164096
	werthschuetzky@emk.tu-darmstadt.de	

Noch ein Hinweis!

In den Jahren 2007 und 2008 hat ein einzelnes Mitglied 1000.- Euro gespendet. Ihm sei Dank und allen Anderen, die mit Rat und Tat und manchmal viel Zeit, die Arbeit des Fördervereins EMKlub unterstützten.

Weitere Informationen finden Sie unter: <http://www.EMKlub.de>

12.2 Freunde des Fachgebiets Lichttechnik der TU Darmstadt e.V.



Der Verein der Freunde des Fachgebiets Lichttechnik der TU Darmstadt e.V. wurde im Jahre 1988 gegründet. Zu seinen heute 58 Mitgliedern gehören ehemalige Absolventen und Assistenten, langjährige Projektpartner des Fachgebietes, sowie Privatpersonen.

Die Zielsetzung des Vereins ist es, das Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Darmstadt bei seiner Arbeit zu unterstützen, insbesondere durch:

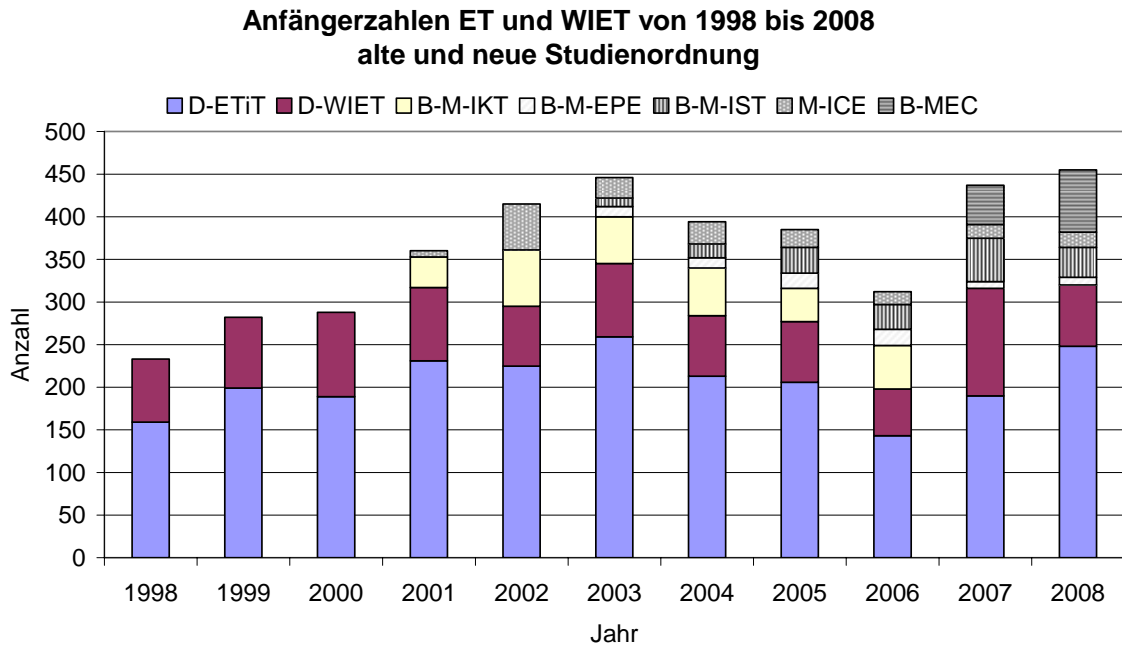
- Unterstützung bei der Ausbildung und Förderung der Studenten des FG Lichttechnik
- Durchführung von Fortbildungsveranstaltungen auf den Gebieten der Lichttechnik
- Durchführung wissenschaftlicher Veranstaltungen
- Mitarbeit von Mitgliedern in Fachgremien und Ausschüssen

Bei der alljährlich stattfindenden Mitgliederversammlung steht die Vorstellung der Tätigkeiten am Fachgebiet Lichttechnik im Vordergrund. In diesem Zuge erhalten Diplom- und Studienarbeiter die Chance, in einem familiären Rahmen über ihre Arbeit zu berichten, und fachlich hochkompetente Rückmeldung der „alten Hasen“ zu bekommen, sowie gleichzeitig Kontakte zu Vertretern der Industrie zu knüpfen. Konstruktive Gespräche zur zukünftigen Forschungsausrichtung bilden die Überleitung in den gemütlichen Abend.

Einen besonderen Beitrag des Freundesvereins stellt die Unterstützung der Forschungstätigkeit durch Finanzierungshilfe bei der Anschaffung der modernen Messtechnik dar. Dadurch wurde beispielsweise der Kauf eines hochwertigen Oszilloskops oder einer Farbmesskamera ermöglicht.

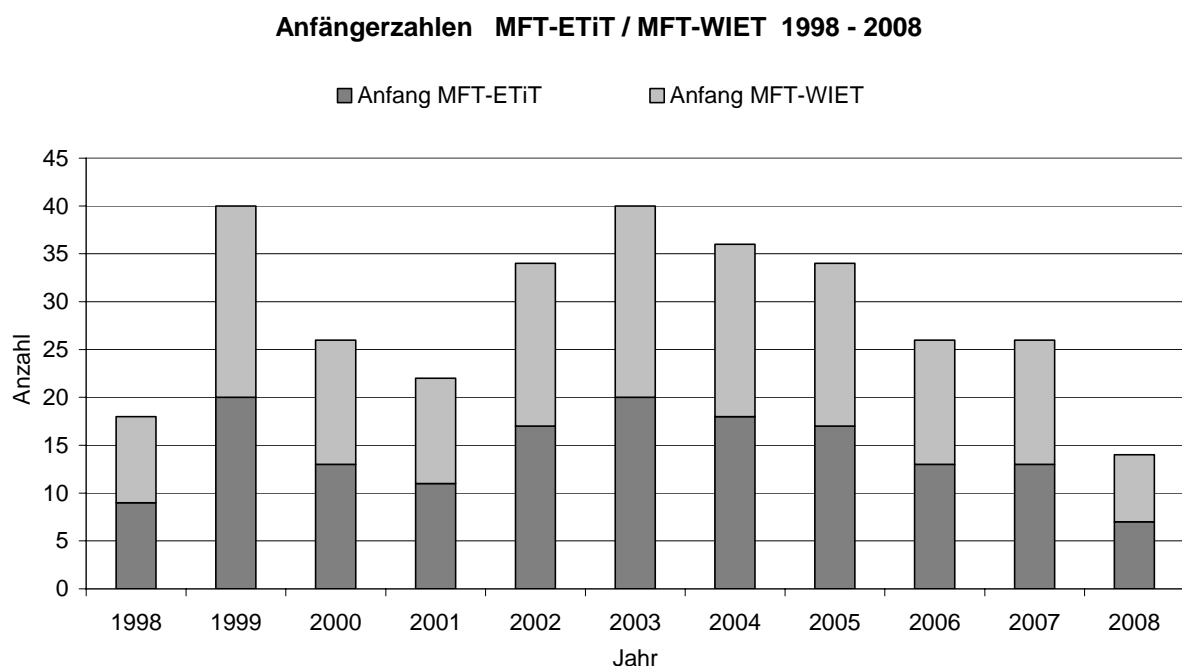
Der Mitgliedsbeitrag beträgt mindestens 25€ pro Jahr.

13. Statistik

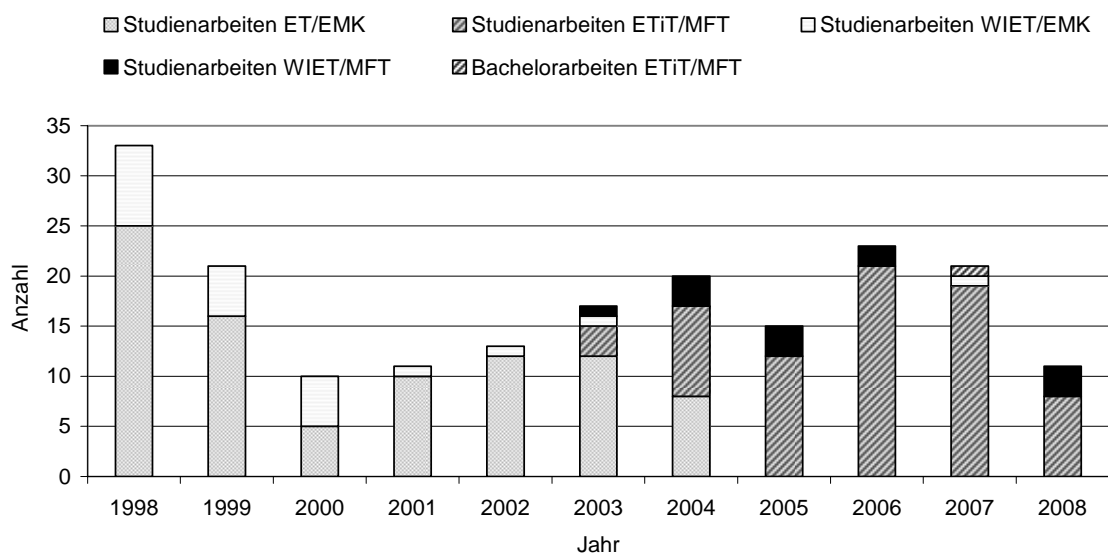


Legende:

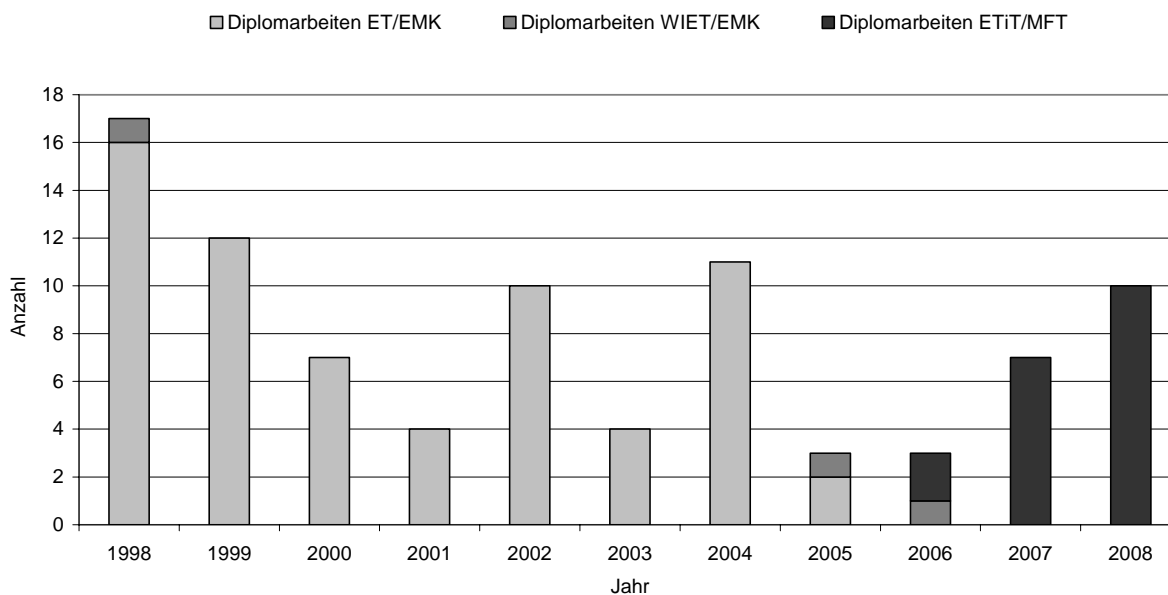
- D-EtiT = Diplomstudiengang Elektrotechnik und Informationstechnik
- D-WIET = Diplomstudiengang Wirtschaftsingenieur Elektrotechnik
- B-M-IKT = Bachelor-Master Informations- und Kommunikationstechnik
- B-M-EPE = Bachelor-Master Elektrische Energietechnik
- D-M-IST = Bachelor-Master Informationssystemtechnik
- B-M-ICE = Bachelor-Master Information and Communication Engineering
- B-MEC = Bachelor-Master Mechatronik



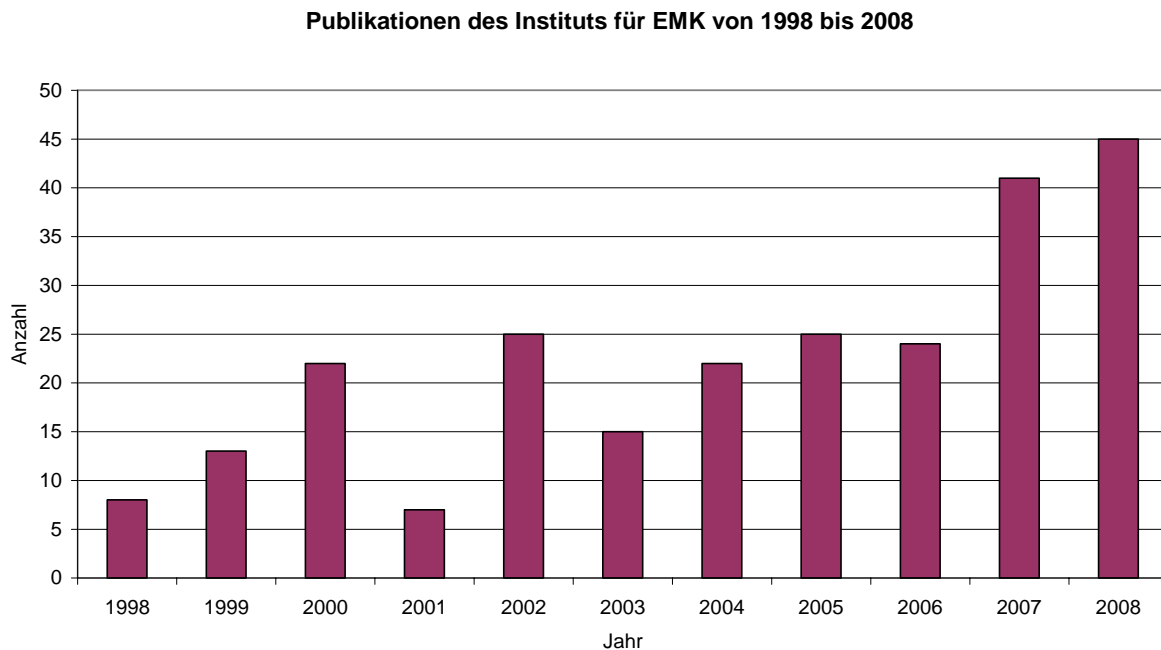
**Studienarbeiten / Bachelorarbeiten ET und WIET von 1998 bis 2008
alte und neue Studienrichtung**



**Diplomarbeiten ET und WIET von 1998 bis 2008
alte und neue Studienrichtung**



Publikationen des Instituts für EMK von 1998 bis 2008



Praktikum Elektrisches Messen mechanischer Größen

Anzahl der Teilnehmer

	WS 03/04	WS 04/05	WS 05/06	WS 06/07	WS 07/08	WS 08/09
Prakti- kum	12	15	30	36	26	22
Prüfung	12	13	26	15	10	Feb. 09

Praktikum ETiT 3

Anzahl der Teilnehmer

	SS 04	SS 05	SS 06	SS 07	SS 08
Prakti- kum	212	227	195	176	104

Prüfung	182	215	185	168	107
---------	-----	-----	-----	-----	-----

Vorlesung Einführung in die Elektrotechnik für Maschinenbauer, WI-MB, Materialwissenschaftler u.a.

Anzahl der Teilnehmer

	SS 04	SS 05	SS 06	SS 07	SS 08
Vorlesung	ca. 650	ca. 650	ca. 740	750	969
Prüfung	520	547	495	670	712

14. Anhang

Eine detaillierte Auflistung der Lehrinhalte ist nachfolgend dargestellt.

14.1 Vorlesungen, Übungen, Praktika

14.1.1 Pflichtfächer

Vorlesungen:

- **Elektromechanische Systeme I (mit Übung)** (WS 2+2)
(Werthschützky, Rausch)
 - Struktur elektromechanischer Systeme und Spezialbegriffe
 - Beschreibung mechanischer, akustischer, fluidischer und thermischer Teilsysteme durch Netzwerke
 - Beschreibung von Wandlern zwischen mechanischen sowie mechanisch - akustischen Teilnetzwerken
 - Beschreibung elektromechanischer Wandlungsmechanismen (elektrostatische, piezoelektrische, magnetische, elektrodynamische, piezomagnetische Wandler)
 - Entwurf komplexer elektromechanischer Systeme mit Netzwerken und Wandlern

- **Elektromechanische Systeme II** (SS 2+0)
(Werthschützky)
 - Grundlagen der technischen Optik
 - Beschreibung optoelektronischer Wandler und ausgewählte Anwendungen
 - Toleranzanalyse elektromechanischer Bauteile
 - Zuverlässigkeit von fein- und mikrotechnischen Produkten
 - Elektrische Kontakte und Schaltverhalten

- **Technologie der Mikro- und Feinwerktechnik I (mit Übung)** (SS 2+1)
(Schlaak, Röse)
 - Herstellungsverfahren von Bauteilen durch Feingießen, Druckgießen, Sintern von Metall- und Keramikteilen, Spritzgießen von Kunststoffen
 - Verbundwerkstoffe
 - Umformprozesse wie Pressen, Prägen, Tiefziehen
 - Trennverfahren wie Feinschneiden, Ultraschallbearbeitung, Laserbearbeitung und Ätzen
 - Verbindungstechnologien: Schweißen, Bonden, Lötverfahren, Kleben

- **Technologie der Mikro- und Feinwerktechnik II (mit Übung)** (SS 2+1)
(Schlaak, Röse)
 - Beschichtungsverfahren:
Pulverbeschichtung, galvanische und chemische Beschichtung, Galvanoabformung, Vakuumbeschichtung (Aufdampfen, Sputtern), CVD-Verfahren
 - Fertigung optischer Bauteile, Glasfasern, Glaskeramik
 - Mikrotechnologien: Reinraumtechnik, Photolithographie, Mikrostrukturierung, Mikromechanik, LIGA-Technik, Mikroverbindungsverfahren
 - Fertigung elektronischer Baugruppen, Chipgehäuse, Packaging, SMT

- **Elektrische Messtechnik** (SS 2+0)
(Werthschützky, Hatzfeld)
 - Messfehler und Messunsicherheit
 - Messgeräte für Mittel- und Effektivwerte
 - Mess- und Rechenverstärker
 - Gleichstrombrücken
 - Analoges Oszilloskop
 - Spannungsteiler und Messwandler
 - Gatter- und Zählschaltungen
 - Frequenz- und Periodendauermessung
 - Leistungsmessung im Einphasensystem

- **Mess- und Sensortechnik (MT I)** (SS 2+0)
(Werthschützky, Werner)
 - Anwendungen, Struktur und Kennwerte elektromechanischer Sensoren
 - Fehlerbeschreibung elektromechanischer Sensoren
 - Messtechnische Analyse von elektromechanischen Sensoren
 - Physikalische Prinzipien von elektromechanischen Sensoren
 - Sensoren für mechanische Größen, wie Beschleunigung, Kraft, Druck, Drehmoment, Geschwindigkeit, Durchfluss und Weg

- **Einführung in die Elektrotechnik für Maschinenbauer u.a.** (SS 4+2)
Grundstudium Maschinenbau, Materialwissenschaft
(Schlaak , Greiner)
 - Elektrotechnische Größen und Einheiten
 - Lineare Gleichstromkreise, Ohmsches Gesetz, Zählpfeile
 - Kirchhoffsche Sätze, Superposition
 - Elektrisches Feld, Kondensator
 - magnetisches Feld, Induktionsgesetz
 - Schaltvorgänge
 - Lineare Wechselstromkreise, Zeigerdiagramm
 - Drehstrom, Transformator
 - Halbleiter, Elektronik, integrierte Schaltungen
 - Netzgeführte Stromrichter, Digitaltechnik
 - Boolesche Algebra
 - Messen nichtelektrischer Größen
 - Sensorprinzipien

Projektseminare:

- **Praktische Entwicklungsmethodik (PEM I bis IV)** (WS 0+2)
(Alle Lehrkräfte EMK) (SS 0+2)
 - Bearbeitung praktischer Themenstellungen in 4er-Gruppen und Betreuung durch Wissenschaftliche Mitarbeiter
 - Entwickeln einer feinwerktechnischen Baugruppe oder eines Gerätes im Team
 - Projektplanung und Projektorganisation
 - Anwendung der Entwicklungsmethodik
 - Präsentation der Ergebnisse als Zwischen- oder Endvortrag sowie Abschlussbericht

Proseminare:

- **Proseminar ETiT Vertiefung MFT** (WS 0+1)
(Schlaak, Werthschützky, Staab)

Praktika:

- **Praktikum Messtechnik** (SS 0+2)
(Funke, Werthschützky)
 - Messung elektrischer Signale im Zeitbereich
 - Signalanalyse im Frequenzbereich
 - Analoge Sensorsignalverarbeitung
 - Signalverarbeitung mit dem PC

- **Elektromechanische Systeme** (SS 0+3)
(Ilgen, Schlaak, Werthschützky)
 - Versuche zu Beispielen von elektromechanischen Systemen, wie Aktoren, Sensoren und deren Signalverarbeitung

- **Elektrisches Messen mechanischer Größen** (WS 0+2)
(Ilgen, Werthschützky, gemeinsam mit FB Mechanik, AG Dynamik, Prof. Markert)
 - Erfassung mechanischer Größen
 - Messsignalverarbeitung
 - Erfassung von Schwingungsgrößen (Markert)

14.1.2 Wahlpflichtfächer

Vorlesungen:

- **Mikrosystemtechnik I (mit Übung)** (WS 2+1)
(Schlaak, Flittner, Schlosser)
 - Einführung und Definitionen zur Mikrosystemtechnik
 - Werkstofftechnische Grundlagen:
Konstruktionswerkstoffe (Silizium, Glas, Keramik)
Funktionswerkstoffe
 - Grundlagen der Technologien:
Schichtabscheidung, Schichtstrukturierung, Ätzverfahren
Silizium-Mikromechanik, LIGA-Verfahren,
Aufbau und Verbindungstechnik, Mechanische Mikrofertigung
 - Funktionselemente der Mikrotechnik
 - Mikroaktoren:
Grundlagen zu Mikroaktoren, Skalierung
 - Mikrofluidik
 - Mikrosensoren
 - Grundlage des Entwurfprozesses
 - Trends, ökonomische Aspekte

- **Bauelemente der Feinwerktechnik** (WS 2+0)
(Blume)
 - Wirkungsweise und vergleichende Betrachtung von Energiespeichern
 - Beschreibung von Lagern (Gleit-, Wälz- und Spitzenlager sowie Sonderformen)
 - Beschreibung von Ruhelementen und Kupplungen
 - Beschreibung von Zugmitteln, Zahnrad-, Reib- und Sondergetrieben

- **Biomedizinische Technik** (SS 2+0)
(Kern)
 - Klassisches Röntgen
 - Röntgen-Computer-Tomographie (CT)
 - Kernspin-Tomographie
 - Ultraschalldiagnostik
 - Funktionaldiagnostik (Radiographie)
 - Druckmessung am Patienten
 - Messung der Blut-Sauerstoffsättigung

- Erfassung elektrischer Größen, wie EKG, EEG
- Instrumente und Methoden der Minimal-invasiven Chirurgie

- **Sensorprinzipien (MT II)** (WS 2+0)
(Werthschützky)

- Physikalische Wirkprinzipien von elektromechanischen Sensoren, wie resistiv, kapazitiv, induktiv, magnetisch, piezoelektrisch
- Resonanzsensoren und Sensoren mit Wellenausbreitung
- Anwendungsbeispiele von elektromechanischen Primärsensoren
- Temperatur- und Feuchtesensoren

- **Sensorelektronik (MT III)** (SS 1+1)
(Werthschützky, Rafflenbeul)

- Struktur- und Funktionsprinzipien analoger und digitaler Sensorelektroniken, Schaltungstopologien
- Komponenten der analogen und digitalen Sensorelektronik, wie Messbrücken, Messverstärker, Filter, AD-Umsetzer, Mikrocontroller
- Kompensation systematischer und Reduzierung zufälliger Sensorfehler
- Analoge und digitale Sensorsignalschnittstellen

- **Elektrische Kleinantriebe (mit Übung)** (WS 2+1)
(Schlaak, Hoppach)

- Kraftwirkung und numerische Feldberechnung von Kleinantrieben
- Rotatorische und lineare Systeme
- Antriebe mit Ständergleich- und Wechselfeld
- Synchronmotoren, Asynchronmotoren und Schrittmotoren
- Mikroantriebe und integrierte Antriebssysteme
- Getriebe für elektrische Kleinantriebe
- Simulation und Modellierung elektrischer Kleinantriebssysteme
- Leistungselektronik für elektrische Kleinantriebe
- EMV- und Geräuschemission von elektrischen Kleinantrieben
- Messen und Regeln an elektrischen Kleinantrieben

-
- **Lichttechnik I** (WS 2+2)
(Khanh, Groh)
 - Einführung in die Lichttechnik
 - Bau und Wirkungsweise des Auges
 - Grundgrößen der Lichttechnik
 - Photometrie
 - Lichttechnische Stoffkennzahlen
 - Lichttechnische Bauelemente Filter
 - Physiologie des Sehens
 - Farbe
 - Grundlagen der Lichterzeugung
 - Lichterzeugung: Temperaturstrahler
 - Lichterzeugung: Entladungslampen

 - **Lichttechnik II** (SS 2+2)
(Khanh, Groh)
 - Informationsverarbeitung im visuellen System
 - Lichterzeugung: Halbleiter
 - Solarmodule – Technologien und Charakterisierung
 - Bauelemente der Optik
 - Innenraumbeleuchtung
 - Ortsfeste Straßenbeleuchtung
 - Lichtsysteme für die Kfz-Industrie
 - Displaysysteme
 - Lichtleitung
 - Polarisiertes Licht

 - **Optoelektronik** (geplant ab WS 2009)
(Khanh)

 - **Technische Optik** (geplant ab SS 2009)
(Khanh)

 - **Management für Ingenieure in der Elektrotechnik** (WS 2+0)
(Schlaak)
 - Organisationsformen im Unternehmen
 - Managementmethoden
 - Projektmanagement
-

- Führung und Führungsverhalten
- Geschäftsfeldplanung
- Kostenrechnung
- Qualitätsmanagement
- Wertanalyse

- **Montage- und recyclinggerechtes Konstruieren** (SS 1+1)
(Weißmantel)

- Methoden der Montage
- Regeln für das montagegerechte Entwickeln
- Regeln für das demontagegerechte Entwickeln
- Umweltgerechtes Entwickeln elektronischer und feinwerktechnischer Geräte
- Normen, Vorschriften, Gesetze
- Einführung in das seniorengerechte und benutzerfreundliche Design¹

Praktika:

- **Produktentwicklung I** (WS 0+3)
(Schlaak, Werthschützky, Staab) (SS 0+3)
- **Produktentwicklung II** (SS 0+3)
(Schlaak, Werthschützky, Staab) (WS 0+3)

Seminare:

- **Institutsrundgang** (WS 0+2)
(Alle Lehrkräfte EMK) (SS 0+2)

Vorstellen der laufenden Studien- und Diplomarbeiten durch einen kurzen Vortrag (3 Minuten) mit anschließender Diskussion in den Laborräumen der Studenten jeweils am Donnerstag 10:00 Uhr. Am ersten Donnerstag im Monat in englischer Sprache.

¹ <http://www.benutzerfreundliches-design.de/>

- **Institutskolloquium** (WS 0+2)
(Alle Lehrkräfte EMK) (SS 0+2)

Präsentation der Studien- und Diplomarbeiten durch einen Vortrag (20 Minuten) mit Diskussion sowie Fachvorträge aus der Industrie und von Institutsmitarbeitern jeweils am Donnerstag 11:00 Uhr, Raum S3 | 06 | 146.

- **Mikrosystemtechnik II (Seminar)** (SS 2+1)
(Schlaak, Staab)

- Intensives Auseinandersetzen mit aktuellen Forschungsthemen der Mikrosystemtechnik.
- Selbst erarbeiteter Fachvortrag und ein wissenschaftlicher Bericht
- Vorträge von externen Referentern

Fachexkursionen:

- **Berlin (18.06.-22.06.2007)** (SS 0+2)
(Werthschützky/Ilggen)

Teilnehmer: 20 Personen

- Alexander Wiegand GmbH & Co. KG (WIKA), Klingenberg
Druckmesstechnik
- LMT Lichtmesstechnik GmbH, Berlin
Lichtmesstechnik, Goniometerbau, Filterfertigung
- Endres + Hauser GmbH+Co. KG; EPCOS Aktiv Sensor GmbH, Teltow
Druckmesstechnik
- Siemens PTD MC, Berlin
Hoch- und Mittelspannungsschalterfertigung
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig
Hydrodynamisches Prüffeld, Druck, Kraft und Drehmomentdarstellung

- **München (26.05.-30.05.2008)** (SS 0+2)
(Schlaak/Ilggen)

Teilnehmer: 22 Personen

- Daimler AG, Untertürkheim, Sindelfingen
Windkanal, Fahrzeugsicherheit, Betriebsfestigkeit
- Instrument Systems, München; SÜSS MicroTec Lithography GmbH, Garching
Lichttechnik, Mikrotechnik
- Siemens AG, Corporate Technology, München
Piezo Technology, Gas-Sensorik

- BMW AG, München
Mobile Messtechnik, Serienentwicklung Bedienelemente
- DLR, Oberpfaffenhofen
Robotik und Mechatronik, Raumfahrt-Kontrollzentrum

Eigenverlag

Institut für Elektromechanische Konstruktionen - **Institutsbericht 2007 / 2008**